

MODELO DE EVALUACIÓN Y SELECCIÓN DE NUEVAS TECNOLOGÍAS EN UN CENTRO  
TECNOLÓGICO DE MANUFACTURING

RAFAEL LIZARRALDE DORRONSORO

Directores de Tesis:

Dra. Jaione Ganzarain Epelde

Dr. Ander Azcarate Olan



Tesis dirigida a la obtención del título de  
Doctor por Mondragon Unibertsitatea

Departamento de Mecánica y Producción Industrial  
Mondragon Unibertsitatea  
Octubre 2020

# **DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD**

Declaro a través de este documento que esta tesis, y el trabajo presentado en ella con sus resultados fueron hechos totalmente por mí, en el Departamento de Mecánica y Producción Industrial de la Escuela Politécnica Superior de Mondragon Unibertsitatea.

# AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, me gustaría agradecer a Ideko, a sus investigadores y a todo el personal, porque son primero el origen y también el destino de esta investigación. Agradecer en particular a Nerea Aranguren, Directora Gerente, por darme la oportunidad y el apoyo para llevar adelante este trabajo.

Muy especial agradecimiento a Jaione Ganzarain, directora de esta tesis, por su dedicación, su asesoramiento, su ánimo continuo y su visión siempre positiva y constructiva que me ha sacado de los momentos más oscuros de este proceso. Mila esker, Jaione!! Hago extensivo este agradecimiento a Ander Azcarate, compañero de Ideko y co-director de la tesis, por su apoyo, fundamental para completar el trabajo.

A los investigadores, de Ideko, MGEP y UPV-EHU, que han contribuido con su trabajo al desarrollo de la investigación y han colaborado en la redacción de los artículos derivados de ella. También a los expertos que colaboraron desinteresadamente en el proceso Delphi, aportando sus valiosas opiniones y criterios.

Finalmente, en el aspecto personal, a mi familia, en particular a mis padres, que ya no están físicamente, pero me dieron todos los medios humanos y materiales para llegar hasta aquí.

Y, definitivamente, y en agradecimiento absolutamente especial, a quien me tiene que aguantar todos los días, con tesis o sin ella, y hace que todos los días sean simplemente mejores. Esti, de todo todo corazón.

# RESUMEN

En el entorno industrial y social actual la importancia de la tecnología y las actividades de I+D+i se consideran clave para la competitividad y sostenibilidad de las empresas, tanto en las economías más desarrolladas como en las economías en desarrollo. En el sector del Manufacturing, en particular en Europa, esta apuesta por la innovación a partir de la investigación y la diferenciación tecnológica no alberga dudas en ningún estadio, desde las administraciones públicas a las empresas.

En este escenario, la decisión sobre las apuestas tecnológicas a llevar a cabo tiene una importancia capital en la gestión de cualquier entidad cuya actividad esté vinculada a la tecnología. Instituciones públicas en sus programas de apoyo al desarrollo y sus inversiones en infraestructuras, entidades académicas, entidades de investigación y transferencia, empresas y entidades de apoyo y promoción, todos observan con especial atención las tendencias tecnológicas y ponen una atención particular a sus apuestas.

En el caso de los centros tecnológicos, su posición central en la cadena de desarrollo de la tecnología, que los involucra en la investigación, el desarrollo y la transferencia y explotación, en los últimos años se está haciendo un esfuerzo especial por avanzar en la excelencia científico-tecnológica y, especialmente, en la consecución de resultados que, transferido a la empresa, se materialicen en un beneficio económico y social. Por ello, es especialmente crítica la correcta selección de las apuestas tecnológicas, para minimizar una dispersión en los esfuerzos e incrementar la eficiencia de la actividad en su servicio a la empresa y la sociedad.

Este proyecto de investigación plantea el desarrollo de un modelo para ayudar a un centro tecnológico en su proceso de evaluación y selección de las tecnologías a adoptar y desarrollar por parte del centro. Se plantea un modelo que pueda ser integrado en sus procesos de reflexión estratégica y también, por su agilidad de uso, en procesos puntuales de evaluación de una o varias tecnologías de potencial interés.

El modelo desarrollado incorpora una visión integral del escenario de actuación de un centro tecnológico, apoyando el análisis de una tecnología tanto en las características de la propia tecnología, como en la adecuación a las características del centro y también la visión de los potenciales clientes del centro y del mercado, destino y objetivo final de la apuesta estratégica y tecnológica de un centro.

La investigación se ha centrado en el sector del Manufacturing, por la importancia que el sector tiene en el desarrollo de la economía europea y, en particular de la economía vasca. Además, el sector del Manufacturing, por su madurez tecnológica, requiere de un especial esfuerzo en la identificación y selección de nuevas apuestas tecnológicas ya que sufre además una relevante competencia de países en desarrollo, cada vez más capacitados tecnológicamente.

El escenario del Manufacturing en el que se centra la investigación no condiciona la misma en su planteamiento básico y en el concepto del modelo, sino que proporciona factores particulares del sector y sobre tecnologías del sector se ha puesto en práctica el modelo, en su

aplicación a dos casos de estudio sobre tecnologías de fabricación.

La visión global del escenario de actuación y la agilidad de configuración y usabilidad del modelo han sido dos aspectos que se han considerado fundamentales en su desarrollo. La consecución de estos objetivos permite visualizar la aplicabilidad del modelo en otros entornos, como entidades de investigación universitarias, empresas con departamentos, centros o unidades de I+D e incluso organismos oficiales en el análisis de sus ecosistemas de I+D+i.

# LABURPENA

Egungo industria- eta gizarte-ingurunean, teknologiaren eta I+G+b jardueren garrantzia funtsezkoa da enpresen lehiakortasunerako eta iraunkortasunerako, bai ekonomia garatuenetan, bai garapen bidean dauden ekonomietan. Manufacturing sektorean, Europan bereziki, ikerketa eta bereizketa teknologikotik abiatutako berrikuntzaren aldeko apustu horrek ez du inolako zalantzarik administrazio publikoetan eta enpresetan.

Egoera horretan, egin beharreko apustu teknologikoei buruzko erabakiak berebiziko garrantzia du teknologiarekin lotutako jarduera duen edozein erakunderen kudeaketan. Erakunde publikoek, garapenerako laguntza-programetan eta azpiegiturretan egiten dituzten inbertsioetan, erakunde akademikoetan, ikerketa- eta transferentzia-erakundeetan, eta laguntza- eta sustapen-enpresa eta -erakundeetan, arreta berezia jartzen diete joera teknologikoei eta arreta berezia jartzen diete beren apustuei.

Zentro teknologikoetan, teknologiaren garapen-katean duten posizio nagusia, ikerketan, garapenean eta transferentzian eta ustiapenean inplikatzeko dituen, azken urteotan ahalegin berezia egiten ari da bikaintasun zientifiko-teknologikoan aurrera egiteko eta, bereziki, enpresari transferituta, onura ekonomiko eta sozial batean gauzatuko diren emaitzak lortzeko. Horregatik, bereziki kritikoa da apustu teknologikoak behar bezala hautatzea, ahaleginak ahalik eta gutxien sakabanatzeko eta enpresari eta gizarteari zerbitzua ematean jardueraren eraginkortasuna areagotzeko.

Ikerketa-proiektu honek eredu bat garatzea planteatzen du, zentro teknologiko bati zentroak hartu eta garatu beharreko teknologiak ebaluatzen eta hautatzeko prozesuan laguntzeko. Bere hausnarketa estrategikoko prozesuetan integratu ahal izango den eredu bat planteatzen da, baita, bere erabilera-arintasunagatik, balizko intereseko teknologia bat edo batzuk ebaluatzen prozesu puntualetan ere.

Garatutako ereduak teknologia-zentro baten jarduera-egoeraren ikuspegi integrala jasotzen du, teknologiaren beraren ezaugarrietan nahiz zentroaren ezaugarrietara egokitzean oinarrituz, bai eta zentroko eta merkatuko bezero potentzialen ikuspegia, helmuga eta zentro baten apustu estrategiko eta teknologikoaren azken helburua ere.

Manufacturing sektorean zentratu da ikerketa, sektoreak Europako ekonomiaren garapenean duen garrantziagatik eta, bereziki, euskal ekonomiaren garapenean. Gainera, Manufacturing sektorearen heldutasun teknologikoa dela-eta, ahalegin berezia egin behar da apustu teknologiko berriak identifikatzeko eta hautatzeko; izan ere, garapen bidean dauden herrialdeen lehia handia du, gero eta gaitasun teknologiko handiagoa baitute.

Ikerketaren ardatz den Manufacturing agertokiak ez du ikerketa baldintzatzen bere oinarritzko planteamenduan eta ereduaren kontzeptuan; aitzitik, sektoreko faktore bereziak ematen ditu, eta sektoreko teknologiei dagokienez, eredu praktikan jarri da, fabrikazio-teknologiei buruzko bi azterketa-kasutan aplikatzeko.

Jarduteko egoeraren ikuspegi orokorra eta ereduaren konfigurazioaren eta erabilgarritasunaren arintasuna funtsezkotzat jo dira haren garapenean. Helburu horiek lortzeak aukera ematen du eredia beste ingurune batzuetan aplikatzeko aukera ikusteko, hala nola, unibertsitateko ikerketa-erakundeetan, I+G arloko sailak, zentroak edo unitateak dituzten enpresetan eta I+G+b ekosistemen azterketan erakunde ofizialetan.

# ABSTRACT

In today's industrial and social environment, the relevance of technology and R+D+i activities is considered key for the competitiveness and sustainability of companies, both in the developed economies and in developing economies. In the Manufacturing sector, particularly in Europe, this commitment towards an innovation based on research and technological differentiation has no doubts at any stage, from public administrations to industrial companies.

In this scenario, the decision on the technological bets to be carried out is of crucial importance in the management of any entity whose activity is linked to technology. Public institutions in their support programs and their investments in infrastructure, academic entities, research and transfer entities, companies and support and promotion entities, all observe with special attention the technological trends and pay particular attention to their technology bets.

In the case of technological centers, their central position in the technology development chain, which involves them in research, development and transfer and exploitation activities, in recent years a special effort is being made to optimize scientific and technological excellence and, in particular, in achieving results that, transferred to the industry, materialize in an economic and social benefit. Therefore, the correct selection of technological bets is particularly critical, to minimize a dispersion in efforts and to increase the efficiency of the activity in its service to the industry and the society.

This research project proposes the development of a model to assist a technological center in its process of evaluating and selecting the technologies to be adopted and developed by the center. It proposes a model that can be integrated into its strategic reflection processes and moreover, by its agility of use, in specific processes of evaluation of one or more technologies of potential interest.

The developed model incorporates a comprehensive vision of the scenario of action of a technological center, supporting the analysis of a technology in the characteristics of the technology itself, as well as in the adaptation to the characteristics of the center and also the vision of the potential customers of the center and the market, destination and final objective of the strategic and technological commitment of a center.

Research has focused on the Manufacturing sector, because of the relevance of the sector in the development of the European economy and, in particular, the Basque economy. In addition, the Manufacturing sector, because of its technological maturity, requires a special effort in the identification and selection of new technological bets as it also suffers from significant competition from developing countries, increasingly technologically trained.

The Manufacturing scenario in which research has been focused does not affect its basic approach and the concept of the model but provides particular factors of the sector. The model has been tested on technologies in the sector, in its application to two case studies on manufacturing technologies.



The overall vision of the scenario of action and the agility of configuration and usability of the model have been two aspects that have been considered fundamental in its development. Achieving these objectives allows to visualize the applicability of the model in other environments, such as university research entities, companies with departments, R&D centers or units and even official bodies in the analysis of their R+D+i ecosystems.

# ÍNDICE

1	Introducción.....	2
1.1	Enmarque tecnológico-industrial .....	2
1.1.1	La relevancia de la I+D+i en el desarrollo industrial, económico y social 2	
1.1.2	El papel de los centros tecnológicos en la cadena del I+D+i .....	4
1.1.3	El sector tecnológico-industrial de la fabricación (Manufacturing) .....	5
1.2	Motivación: El Proceso de Gestión de la Tecnología en un centro tecnológico. La etapa de selección de tecnología .....	7
1.3	Problema de Investigación .....	8
1.3.1	Objetivo general de la tesis .....	8
1.4	Estructura de la tesis doctoral .....	9
2	Revisión bibliográfica .....	13
2.1	Introducción. Estructura del capítulo .....	13
2.2	Gestión de la Tecnología y la Innovación.....	14
2.2.1	El Proceso de Gestión de la Tecnología .....	18
2.2.2	Subproceso de Evaluación y Selección de la Tecnología. Introducción sobre familias de métodos.....	21
2.2.3	Métodos Multicriterio para la Identificación y Selección de Tecnología 28	
2.2.4	Aplicación de Métodos Multicriterio para la Identificación y Selección de Tecnologías .....	41
2.3	Modelos de relación y colaboración entre agentes tecnológicos y empresas ..	50
2.3.1	Motivaciones para la colaboración .....	50
2.3.2	Factores clave de la colaboración .....	54
2.3.3	Modelos y prácticas de colaboración .....	58
2.4	Capacidad de absorción tecnológica de las empresas .....	62
2.4.1	Definiciones del concepto capacidad de absorción .....	62
2.4.2	Configuración y estructuración del concepto capacidad de absorción	64
2.4.3	Factores determinantes de la capacidad de absorción .....	66
2.4.4	Medición de la capacidad de absorción .....	67
2.5	El sector del Manufacturing: sector clave basado en la Tecnología y la Innovación.....	68
2.5.1	Posicionamiento, relevancia y evolución del Sector .....	68
2.5.2	El subsector de Máquina-Herramienta .....	72
2.5.3	El sector del Manufacturing en Euskadi .....	75
2.6	Conclusiones del Análisis Bibliográfico y relevancia de la tesis.....	77
2.6.1	Resumen y conclusiones del Análisis Bibliográfico.....	77
2.6.2	Gap Tecnológico, relevancia de la tesis doctoral.....	83
3	Objetivos e Hipótesis de Investigación .....	86
3.1.1	Objetivos específicos de la Investigación.....	86

3.1.2	Hipótesis de Investigación .....	90
4	Metodología de investigación .....	101
4.1	Introducción. Enmarque en el proceso de Gestión de la Tecnología .....	101
4.1.1	Enmarque en el proceso de Gestión de la Tecnología .....	101
4.2	Descripción de la Metodología .....	102
4.2.1	Fase de caracterización y diseño .....	102
4.2.2	Fase de Desarrollo .....	104
4.2.3	Fase de Validación .....	105
5	Resultados .....	108
5.1	Descripción del método MIVES en el que se basa el modelo a desarrollar ...	108
5.1.1	Fases de la metodología MIVES .....	109
5.2	Fase de caracterización y diseño .....	117
5.2.1	Análisis de la literatura científica. ....	117
5.2.2	Aplicación de Delphi con el panel de expertos.....	124
5.3	Fase de Desarrollo .....	134
5.3.1	Asignación de pesos .....	134
5.3.2	Descripción y comportamiento de los indicadores .....	142
5.4	Fase de Validación. ....	172
5.4.1	Aplicación a dos casos de estudio .....	173
5.4.2	Análisis de sensibilidad .....	192
5.4.3	Conclusiones de la fase de validación .....	195
5.5	Resultados del testeo de las hipótesis .....	196
6	Conclusiones, implicaciones, limitaciones y líneas futuras .....	208
6.1	Conclusiones referidas al problema de investigación .....	209
6.2	Conclusiones referidas al modelo .....	210
6.3	Conclusiones referidas a la aplicación del modelo a dos casos de estudio ...	212
6.4	Limitaciones y líneas futuras de desarrollo derivadas.....	214
6.5	Aportaciones e Implicaciones derivadas de la investigación .....	215
6.5.1	Implicaciones relacionadas con el comportamiento del modelo .....	215
6.5.2	Implicaciones relacionadas con la extensión a otras organizaciones y escenarios de decisión .....	216
6.6	Publicaciones resultado de la investigación .....	217
7	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	219
8	Anexos .....	273
8.1	Anexo A: Cuestionario primera iteración DELPHI .....	273
8.2	Anexo B: Cuestionario segunda iteración DELPHI .....	276

# LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Estructura de la Tesis Doctoral .....	9
Figura 2: Estructura de la revisión bibliográfica .....	13
Figura 3: Escenario de la Gestión de la Tecnología (Phaal et al., 2004).....	16
Figura 4: Esquema del Proceso de Gestión de la Tecnología (Gregory, 1995) .....	18
Figura 5: Esquema de proceso de Gestión de la Tecnología presentado por Phaal et al (Phaal et al., 1998) .....	19
Figura 6 : Factores determinantes de la estrategia tecnológica (Sahlman, 2010).....	20
Figura 7: Representación del Technology Radar (Färber, 2016).....	27
Figura 8: Artículos referidos al uso de métodos multicriterio (Stojčić et al., 2019) .....	29
Figura 9: esquema global del modelo .....	87
Figura 10: áreas clave del modelo .....	88
Figura 11 : Hipótesis 1_1.....	91
Figura 12: hipótesis 1_2 .....	92
Figura 13: hipótesis 1_3 .....	93
Figura 14: hipótesis 2_1 .....	94
Figura 15: hipótesis 2_2 .....	95
Figura 16: hipótesis 3_1 .....	96
Figura 17: hipótesis 3_2 .....	97
Figura 18: hipótesis 3_3 .....	98
Figura 19: Esquema propuesto para el Proceso de Desarrollo Tecnológico. Adaptación del modelo de Gregory (1995).....	101
Figura 20: Esquema de la metodología de investigación .....	102
Figura 21: Estructura general de la toma de decisión.....	110
Figura 22: Árbol de toma de decisión genérico.....	111
Figura 23: página de acceso público para descarga de la herramienta informática MIVES.....	115
Figura 24: interfaces de acceso de los tres módulos de la herramienta MIVES v2.1.1 116	
Figura 25: cuestionario ronda 1 Delphi. Factores de la tecnología.....	128
Figura 26: cuestionario ronda 1 Delphi. Factores del centro tecnológico .....	128
Figura 27: cuestionario ronda 1 Delphi. Factores de los clientes potenciales .....	128
Figura 28: resultado de la primera ronda Delphi para los factores propios de la tecnología .....	129
Figura 29: resultado de la primera ronda Delphi para los factores del centro tecnológico 130	
Figura 30: resultado de la primera ronda Delphi para los factores de los clientes del centro.....	132
Figura 31: Propuesta de estructura jerárquica ronda 2 Delphi .....	133
Figura 32: Árbol jerárquico definitivo a incluir en el modelo MIVES .....	134

Figura 33: Esquema detalle de indicadores a comparar. Criterio “factores propios de la tecnología – madurez” .....	135
Figura 34: Esquema detalle de indicadores a comparar. Criterio “factores propios de la tecnología – relevancia” .....	136
Figura 35: Esquema detalle de indicadores a comparar. Criterio “factores propios de la tecnología – mercado” .....	137
Figura 36: Esquema detalle de indicadores a comparar. Criterio “factores propios del centro tecnológico – factores internos” .....	138
Figura 37: Esquema detalle de indicadores a comparar. Criterio “factores propios de los clientes potenciales – factores internos” .....	139
Figura 38: Esquema detalle de criterios a comparar. Requerimiento “factores propios de la tecnología” .....	140
Figura 39: Esquema detalle de requerimientos a comparar .....	141
Figura 40: Árbol jerárquico con pesos asignados .....	142
Figura 41: Curva en “S” representativa del ciclo de desarrollo de la tecnología .....	143
Figura 42: Hype Cycle de Gartner 2020.....	144
Figura 43: Escala TRL según el Factories of the Future Roadmap (FoF, 2010) .....	144
Figura 44: Relación de Hype Cycle con TRL .....	145
Figura 45: Función de valor del indicador TRL - ciclo de desarrollo .....	146
Figura 46: Matriz de riesgos .....	147
Figura 47: Función de valor para el indicador riesgo tecnológico.....	147
Figura 48: Función de valor para el indicador originalidad .....	149
Figura 49: Función de valor del indicador potencial de extensión .....	152
Figura 50: Función de valor para el indicador patentabilidad .....	153
Figura 51: Función de valor para el indicador dimensión .....	155
Figura 52: Función de valor para el indicador fragmentación .....	156
Figura 53: Método de valoración de los competidores .....	158
Figura 54: Función de valor para representar el indicador capacitación (centro tecnológico) .....	160
Figura 55: función de valor para el indicador encaje con la estrategia (centro tecnológico) .....	163
Figura 56: Valoración del indicador acceso al mercado .....	164
Figura 57: Valoración del indicador costes (centro tecnológico).....	165
Figura 58: Matriz de evaluación del timing del centro tecnológico si la tecnología se ha aplicado previamente en el sector.....	166
Figura 59: Matriz de evaluación del timing del CT si la tecnología no se ha aplicado previamente en el sector .....	166
Figura 60: Valoración del indicador capacitación profesional (clientes) .....	167
Figura 61: Valoración de indicador equipamiento (clientes) .....	168
Figura 62: función de valor para el indicador encaje con la estrategia (clientes) .....	169
Figura 63: Valoración del indicador costes (clientes).....	170
Figura 64: Valoración del indicador timing (clientes) .....	170
Figura 65: Proceso de reparación de álabes por Laser Cladding, Fuente: Ideko.....	176

Figura 66: Relación de aspecto en torneado convencional y microtorneado .....	177
Figura 67: Hipótesis 1_1.....	197
Figura 68: Hipótesis 1_2.....	198
Figura 69: Hipótesis 1_3.....	199
Figura 70: Hipótesis 2_1.....	200
Figura 71: Hipótesis 2_2.....	201
Figura 72: Hipótesis 3_1.....	202
Figura 73: Hipótesis 3_2.....	203
Figura 74: Hipótesis 3_3.....	204

# LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Comparativa de métodos de selección multicriterio.....	39
Tabla 2: Resumen de principales aportaciones de aplicación de métodos MCDM .....	49
Tabla 3: Factores de éxito en la relación empresa-agente científico-tecnológico .....	55
Tabla 4: Definiciones de capacidad de absorción .....	63
Tabla 5: Objetivos e hipótesis asociadas .....	90
Tabla 6: Índice consistencia aleatoria .....	114
Tabla 7: Factores asociados a las características propias de la tecnología .....	120
Tabla 8: Factores asociados a las características del centro tecnológico .....	121
Tabla 9: Factores asociados a las características de los clientes del centro tecnológico 123	
Tabla 10: Matriz de comparación por pares y vector de pesos para los indicadores derivados del criterio “factores propios de la tecnología – madurez” .....	136
Tabla 11: análisis de consistencia para los indicadores derivados del criterio “factores propios de la tecnología – madurez” .....	136
Tabla 12: Matriz de comparación por pares y vector de pesos para los indicadores derivados del criterio “factores propios de la tecnología – relevancia” .....	136
Tabla 13: Análisis de consistencia para los indicadores derivados del criterio “factores propios de la tecnología – relevancia” .....	137
Tabla 14: Matriz de comparación por pares y vector de pesos para los indicadores derivados del criterio “factores propios de la tecnología – mercado” .....	137
Tabla 15: Análisis de consistencia para los indicadores derivados del criterio “factores propios de la tecnología – mercado” .....	137
Tabla 16: Matriz de comparación por pares y vector de pesos para los indicadores derivados del criterio “factores propios del centro tecnológico – factores internos” ....	138
Tabla 17. Análisis de consistencia para los indicadores derivados del criterio “factores propios del centro tecnológico – factores internos” .....	138
Tabla 18: Matriz de comparación por pares y vector de pesos para los indicadores derivados del criterio “factores propios de los clientes potenciales – factores internos” 139	
Tabla 19: Análisis de consistencia para los indicadores derivados del criterio “factores propios de los clientes potenciales – factores internos” .....	139
Tabla 20: Matriz de comparación por pares y vector de pesos para los criterios derivados del requerimiento “factores propios de la tecnología” .....	140
Tabla 21: Análisis de consistencia para los criterios derivados del requerimiento “factores propios de la tecnología” .....	140
Tabla 22: Matriz de comparación por pares y vector de pesos para los requerimientos 141	
Tabla 23: Análisis de consistencia para los requerimientos .....	141
Tabla 24: Ponderación del nivel de TRL .....	145
Tabla 25: Clasificación de los tipos de máquina-herramienta según AFM (AFM, s. f.) 150	
Tabla 26: Valoración de los competidores en caso de que haya 5 o más empresas de tamaño pequeño y/o mediano .....	159
Tabla 27: Valoración del indicador capacitación (centro tecnológico) .....	160

Tabla 28: Valoración del indicador equipamiento (centro tecnológico) .....	161
Tabla 29: Valoración del indicador “timing” (centro tecnológico) .....	167
Tabla 30. Clasificación de los procesos de Fabricación Aditiva según ASTM (ASTM International, 2012).....	175
Tabla 31: Resultado de la valoración de los casos de estudio para el indicador TRL – ciclo de desarrollo.....	179
Tabla 32: Resultado de la valoración de los casos de estudio para el indicador Riesgo Tecnológico .....	179
Tabla 33: Resultado de la valoración de los casos de estudio para el indicador Originalidad.....	180
Tabla 34: Tipos de máquinas en los que son aplicables las tecnologías en evaluación	180
Tabla 35: Resultado de la valoración de los casos de estudio para el indicador Potencial de extensión .....	181
Tabla 36: Resultado de la valoración de los casos de estudio para el indicador Patentabilidad.....	182
Tabla 37: Resultado de la valoración de los casos de estudio para el indicador Dimensión.....	182
Tabla 38: Resultado de la valoración de los casos de estudio para el indicador Fragmentación.....	183
Tabla 39: Resultado de la valoración de los casos de estudio para el indicador Competidores .....	183
Tabla 40: Resultado de la valoración de los casos de estudio para el indicador Capacitación Profesional para el CT .....	184
Tabla 41: Resultado de la valoración de los casos de estudio para el indicador Equipamiento para el CT.....	184
Tabla 42: Resultado de la valoración de los casos de estudio para el indicador Encaje con la Estrategia para el CT .....	185
Tabla 43: Resultado de la valoración de los casos de estudio para el indicador Acceso al Mercado para el CT .....	185
Tabla 44: Resultado de la valoración de los casos de estudio para el indicador Costes para el CT .....	186
Tabla 45: Resultado de la valoración de los casos de estudio para el indicador Timing para el CT .....	186
Tabla 46: Resultado de la valoración de los casos de estudio para el indicador Capacitación Profesional para los clientes del CT .....	187
Tabla 47: Resultado de la valoración de los casos de estudio para el indicador Equipamiento para los clientes del CT.....	187
Tabla 48: Resultado de la valoración de los casos de estudio para el indicador Encaje con la Estrategia para los clientes del CT .....	188
Tabla 49: Resultado de la valoración de los casos de estudio para el indicador Costes para los clientes del CT .....	188
Tabla 50: Resultado de la valoración de los casos de estudio para el indicador Timing para los clientes del CT .....	189
Tabla 51: Índice de Adopción de la Tecnología para los dos casos de estudio .....	189
Tabla 52: Escenarios del análisis de sensibilidad .....	193



Tabla 53: Valores calculados para el Índice de Adopción de la Tecnología (IAT) en los nuevos escenarios.....	193
Tabla 54: Porcentajes de variación del Índice de Adopción de la Tecnología (IAT) en los nuevos escenarios.....	194
Tabla 55: Objetivos de investigación e hipótesis asociadas .....	196
Tabla 56: Valoración de la hipótesis 1_1 .....	197
Tabla 57: Valoración de la hipótesis 3_3 .....	204
Tabla 58: Publicaciones resultado de la investigación.....	217

## Capítulo 1

---

### **Introducción**

# 1 Introducción

El Proceso de Gestión y de Desarrollo de la Tecnología constituye un importante foco de atención en la estrategia de competitividad tanto de empresas como entidades de investigación en las economías más desarrolladas y, de manera creciente, en las economías en desarrollo.

En este escenario, se han desarrollado multitud de trabajos, tanto de investigación como de aplicación en forma de metodologías, modelos y herramientas, para la optimización del proceso de Gestión y de Desarrollo de la Tecnología en las cinco fases en que este proceso se estructura, según el modelo de Gregory (1995): identificación, selección, adquisición, explotación y protección.

La presente tesis doctoral se enmarca en la fase de selección de la tecnología, y se centra en abordar la problemática asociada a este proceso dentro de un centro tecnológico, con las particularidades que presenta por su posición y papel dentro de la cadena de desarrollo y maduración de la tecnología.

El trabajo de investigación que aquí se presenta trata de desarrollar un modelo que permita, en su aplicación en un centro tecnológico, abordar la tarea de selección de una nueva tecnología de manera cómoda, lo más objetiva posible y atendiendo a todos los factores clave que marcan la idoneidad de la decisión tomada, de acuerdo a las características de la propia tecnología o tecnologías evaluadas, las características y posición del centro tecnológico y los condicionantes y características de su entorno de actuación, configurado fundamentalmente por los clientes del centro tecnológico y por el mercado.

## 1.1 Enmarque tecnológico-industrial

En este apartado se va a presentar el escenario en el que se ubica la tesis doctoral, describiendo los aspectos clave de ese escenario, que introducen las condiciones de contorno de la investigación y también la relevancia y motivación de la misma.

Estos aspectos clave hacen referencia a la importancia de las actividades de I+D+i para el desarrollo industrial, económico y social, al papel de los centros tecnológicos dentro de ese ecosistema de la I+D+i, a la estructuración del proceso de gestión de la tecnología, recogido en su visión global y desde la particularidad de un centro tecnológico. Y finalmente se complementa el enmarque con las particularidades introducidas por el sector del Manufacturing en el que se desarrolla la investigación y al que se orienta, en primera instancia, el modelo desarrollado. Si bien, como se verá en el desarrollo de la tesis, las particularidades del sector no condicionan la metodología de investigación en su globalidad, sino que aportan la personalización del modelo de aplicación final desarrollado y los casos de estudio analizados.

### 1.1.1 La relevancia de la I+D+i en el desarrollo industrial, económico y social

La actividad de I+D+I (Investigación + Desarrollo + innovación) está considerada en la sociedad

## 1. Introducción

occidental como fundamental para asegurar un desarrollo socioeconómico mantenido y sostenible (Nazarko, 2019; Phaal et al., 1998). Se entiende esta importancia tanto para asegurar el bienestar y la sostenibilidad de las economías más avanzadas, como para el desarrollo de aquellas menos favorecidas o en procesos emergentes (Guan et al., 2009; Zolfani y Saparauskas, 2014).

En el caso de los países industrializados, en el que se enmarca la actividad de este grupo de investigación y al que se circunscribirá el desarrollo de la tesis, en los últimos años se evidencia un especial énfasis por parte de todos los agentes tractores, desde la propia Administración Pública hasta el entorno académico e industrial, en resaltar la importancia de incrementar la efectividad de la cadena de desarrollo de la I+D+i, buscando dos grandes objetivos:

- Incrementar la eficiencia del ciclo de investigación. Esta eficiencia se define en términos tanto de acierto en la selección de la tecnología a desarrollar (esto es, minimizar el esfuerzo dedicado a tecnologías con bajo retorno industrial y socioeconómico) (Benson et al., 1993) como de ajuste de los recursos en toda la cadena de desarrollo, para maximizar el ratio retorno/inversión (Clausen et al., 2013; Eilat et al., 2008).
- Acortar al máximo el tiempo de maduración de una tecnología, de manera que el tiempo transcurrido entre las primeras actividades de investigación (I) y la llegada al mercado de sus resultados (i) sea el menor posible.

Como ejemplo significativo de esta preocupación, la Comisión Europea en la formulación del Programa actualmente vigente Horizon2020 acuñó el término “*Valley of Death*” (CDTI, 2012; Roper et al., 2011), para hacer referencia a la excesiva distancia detectada en los Programas anteriores (V, VI, VII Programa Marco) entre las actividades de investigación financiadas por esos programas y la traslación al mercado y consiguiente consecución de retornos económicos derivados de esas actividades de investigación. Por ello, el Programa H2020 está dotado de múltiples herramientas para tratar de crear puentes que superen ese “*Valley of Death*”. Estas herramientas se materializan en instrumentos (convocatorias, llamadas, *topics*) y, sobre todo y de forma extendida, en especificaciones y medidas de seguimiento y control en todos los proyectos para garantizar actividades claramente orientadas a la transferencia, explotación y divulgación de resultados.

El caso de Europa es ejemplo de todas las economías occidentales que han visto que la competencia de países emergentes, especialmente asiáticos, está evolucionando de la ventaja competitiva fundamentada en el bajo coste de la mano de obra hacia la incorporación de calidad y valor añadido al producto, con desarrollos tecnológicos de primer nivel, llevados a cabo en tiempos muy cortos, y con programas de I+D+i (además de educación-formación-capacitación) muy desarrollados (Guan et al., 2009; Zolfani y Saparauskas, 2014). Por ello, los países occidentales no pueden conformarse sólo con estrategias de producto de alto valor añadido, en las cuales están perdiendo su exclusividad, sino que necesariamente deben acompañar esa estrategia con una aceleración del ciclo el desarrollo de esos productos de

## 1. Introducción

manera drástica, además de buscar nuevas oportunidades de mercado que marquen nuevas áreas de desarrollo y especialización.

### **1.1.2 El papel de los centros tecnológicos en la cadena del I+D+i**

Los centros tecnológicos son uno de los agentes clave dentro de la cadena de desarrollo de la I+D+i ya que sus actividades cubren desde las fases de investigación aplicada (incluso un cierto porcentaje de investigación fundamental) hasta la transferencia tecnológica, es decir, desde un nivel de Technology Readiness Level (Héder, 2017; ISO, 2013) TRL 2-3 hasta TRLs 7-8, estando el núcleo de su actividad en la investigación aplicada y el desarrollo tecnológico (TRLs 3-6).

Se consideran clave porque en esta ubicación en la cadena de valor son los actores del ámbito del conocimiento que tienen un contacto más directo con la empresa y, por ello, el éxito de la transferencia de la tecnología al mercado recae en buena medida en sus actuaciones y su desempeño. También porque son, en buena medida, el eslabón conector entre la generación de conocimiento que se realiza en las actividades de investigación más académicas, en la Universidad fundamentalmente, y la realidad empresarial y de mercado (Giannopoulou, 2016; Prager, 2011; Rincón-Díaz y Albors-Garrigós, 2013).

La propia EARTO (*European Association of Research and Innovation Organisations*), define a los centros tecnológicos (dentro de la acepción más amplia de *Research and Technology Organisations*, RTOs) como proveedores de tecnología e innovación para las empresas y gobiernos, manteniendo una parte importante de su actividad integrada en la ciencia básica, en cooperación con la universidad (EARTO). Esta posición en la cadena de desarrollo del conocimiento y la tecnología obliga a los centros tecnológicos a adoptar estrategias de desarrollo que, necesariamente, deben tener en cuenta tanto la vertiente de la generación de conocimiento (I) como la transferencia y explotación comercial de los resultados (i), además de su actividad nuclear de desarrollo tecnológico (D) (EARTO; Giannopoulou, 2016).

En el caso particular vasco, el Gobierno Vasco ha procedido entre los años 2014 y 2015 a una revisión de la Red Vasca de Ciencia Tecnología e Innovación, analizando y reorientando el papel de cada tipología de entidad. En el caso de los centros tecnológicos, esta revisión se ha traducido en una serie de directrices que se materializan en un Panel de Mando, estructurado en cuatro áreas, con su respectivo panel de indicadores:

- *Mix* de actividad, recoge el porcentaje de actividad que el centro tecnológico desarrolla en cada uno de los diferentes niveles de la cadena de I+D+i.
- Especialización, hace referencia al encaje con las Áreas Estratégicas marcadas en la Estrategia RIS3 (*Regional Innovation Smart Specialization Strategy*) (EUSKADI-RIS3, 2014).
- Excelencia, medida a partir de indicadores asociados a la generación de publicaciones, patentes, y creación de nuevas empresas de base tecnológica.

## 1. Introducción

- Modelo de relaciones, en referencia tanto a la actividad de transferencia al tejido industrial como a la colaboración con otros agentes de la RVCTI y la colaboración internacional.

En resumen, la actividad de los centros tecnológicos debe abarcar:

- La identificación de nuevas tecnologías con potencial de generar un valor añadido al tejido industrial y la sociedad.
- El desarrollo de esas tecnologías, en colaboración con otros agentes de la cadena ciencia-tecnología-industria, utilizando los mecanismos de desarrollo que se consideren más eficientes (desarrollo compartido, capacitación del personal, colaboraciones estratégicas, adquisición de tecnología).
- La traslación de esas tecnologías al mercado y la sociedad, a través de la transferencia al tejido industrial, actual y nuevo a través de la creación de Nuevas Empresas de Base Tecnológica (NEBTs). Esta transferencia incluye la formación y capacitación de personal especializado en esas tecnologías que se transfiera al tejido industrial.

### **1.1.3 El sector tecnológico-industrial de la fabricación (Manufacturing)**

Dentro de este marco de necesidad de incremento de la competitividad y la eficiencia, el sector de la fabricación tiene un papel muy importante, y también unas características que lo hacen particularmente complejo.

Por un lado, la importancia del sector es indudable. Ha sido clave para impulsar el crecimiento económico y el aumento del nivel de vida durante casi tres siglos y continúa siendo considerado como elemento clave de desarrollo industrial y social, tanto en las economías más avanzadas como en las economías en desarrollo (Manyika et al., 2012).

Sin embargo, en las últimas décadas del siglo XX, con el auge de la globalización y la deslocalización, algunos gobiernos occidentales hicieron la apuesta por una estrategia de centrar sus economías en la generación de tecnología y los servicios, relegando alarmantemente las actividades de fabricación y producción, entendiéndolo que eran actividades de menor valor añadido, que definitivamente se trasladarían de forma masiva a países de bajo coste. Son significativas en este sentido las estrategias de Estados Unidos y Gran Bretaña, llegando a desmantelar estructuras de investigación del sector del Manufacturing, además de trasladar las capacidades productivas a países de bajo coste. Incluso en Euskadi, aunque más fugazmente, se acuñó a principios del presente siglo el eslogan "*thought in Euskadi*" como estrategia de futuro. En contraposición, otros países, con Alemania a la cabeza, mantuvieron su apuesta por la cadena de valor completa (desde la generación hasta la fabricación) como estrategia de valor de la economía del país (Arancegui y Sabalza, 2016).

En los últimos 10-15 años y en especial a partir del estallido de la crisis en 2008, esta tendencia se ha reconducido e incluso aquellos países que abogaron por otros sectores estratégicos han activado importantes programas para potenciar el Manufacturing propio,

## 1. Introducción

desde la Investigación hasta la puesta en el mercado. A destacar la iniciativa “*Catapult*” británica, con la creación de toda una red de centros tecnológicos, con una importante implicación industrial, para asegurar la cadena de valor (Technology Strategy Board, 2012). En la misma línea la iniciativa del Gobierno americano, liderada por el propio presidente Obama, “*A National Strategic Plan for Advanced Manufacturing*” (Executive Office of the Council, 2012). En Euskadi tanto la Estrategia de Fabricación Avanzada elaborada en 2010 como la actual definición de la Especialización Inteligente (RIS3), en la que la Fabricación Avanzada es una de las actividades clave, refuerza la creciente importancia de la fabricación para la competitividad de las economías occidentales y la apuesta de las Administraciones correspondientes (EUSKADI-RIS3, 2014; GV-EJ, 2014; Ministerio de Economía y Competitividad, 2013; SPRI, 2020).

En esta corriente favorable, el sector de la fabricación presenta sin embargo una característica que introduce una cierta complejidad desde la visión de la I+D+i. Tecnológicamente, el sector de fabricación es un sector maduro, como corresponde a una larga historia, en la que ha mantenido una intensidad de investigación relevante. En el caso de Euskadi esta situación es manifiesta tanto desde la visión industrial como desde la tecnológica, con un importante número de agentes (centros y universidades) con una larga trayectoria en investigación, colaborando y compitiendo, con un más que aceptable nivel de éxito, también internacionalmente. Esto hace que frente a otros sectores emergentes (como bio, salud, TICs, energía), la identificación de nuevas áreas de actividad, tanto de investigación como de mercado, que generen actividad y retorno económico, empleo y, en definitiva, crecimiento, se complica en el más maduro sector del Manufacturing, que ha adquirido una inercia de desarrollo incremental, con pocos casos de saltos cualitativos significativos.

En el caso de Euskadi hay un segundo factor que no es favorable a la adopción de nuevas tecnologías y la realización de cambios tecnológicos disruptivos. Este factor viene dado por el hecho de que las empresas del sector con producto propio son pocas, siendo la mayoría de empresas, incluso las líderes del sector, centros de producción que dependen de centros de desarrollo y decisión exteriores (Arancegui y Sabalza, 2016). Desde el punto de vista de la tecnología y la investigación esto se plasma en una dificultad para identificar y poner en marcha áreas de especialización e investigación en nuevos ámbitos tecnológicos que den lugar tanto a actividad de los agentes de investigación como a productos o servicios comercializables por el tejido industrial.

Y esta situación conforma una encrucijada clave para el sector: se considera que el sector de fabricación es clave para el futuro de Europa y, en particular de Euskadi, pero el sector debe buscar nuevas áreas de desarrollo que sustituyan progresivamente a las tecnologías más maduras, muchas de las cuales están en fase de amortización o son más competitivas en países emergentes, en particular en Asia.

## **1.2 Motivación: El Proceso de Gestión de la Tecnología en un centro tecnológico. La etapa de selección de tecnología**

Partiendo de la estructura de las cinco fases (identificación, selección, adquisición, explotación y protección) que configuran el modelo de Gestión de la Tecnología más ampliamente aceptado (Gregory, 1995), puede condensarse el desarrollo de una tecnología dentro de la actividad de un centro tecnológico en cuatro grandes fases (integrando las fases de explotación y protección del modelo de Gregory en la fase de transferencia aquí propuesta):

- Fase 1: Identificación de nuevas tecnologías con potencial de desarrollo en el centro tecnológico. Junto con la actividad de selección, fundamental para definir las estrategias de investigación a medio y largo plazo. Esta actividad se lleva a cabo de diferentes maneras, desde búsquedas metodológicas en procesos sistemáticos de vigilancia tecnológica y estudios de estado del arte, hasta actividades cotidianas de un centro tecnológico como participación en proyectos de investigación, presencia en foros científico-tecnológicos, relaciones con partners y clientes.
- Fase 2: Selección de tecnologías a desarrollar entre las identificadas en las actividades recogidas en la Fase 1. Fundamental para definir las estrategias de investigación a medio y largo plazo, es una actividad que se realiza habitualmente en la planificación estratégica y tecnológica de un centro tecnológico y una de las áreas en las que se identifica una mayor carencia de aplicación sistemática y metodológica.
- Fase 3: Proceso de desarrollo de una tecnología dentro del centro tecnológico. Este bloque hace referencia a cómo el centro tecnológico gestiona la evolución de una tecnología, para recorrer el camino entre el TRL inicial y el TRL objetivo. En este caso, los criterios de eficacia y eficiencia hacen hincapié en la metodología de seguimiento y toma de decisiones que asegura que el ritmo de desarrollo es el adecuado y que se monitoriza y actualiza de manera continua la idoneidad y el retorno e impacto de la tecnología.
- Fase 4: Proceso de transferencia de la tecnología al tejido industrial. En este bloque tienen incidencia factores internos del centro tecnológico (capacitación, perfiles profesionales) y factores compartidos y/o externos como modelos de colaboración, capacitación (profesional y de equipamiento) de las empresas receptoras.

De estas cuatro fases que configuran el ciclo de desarrollo de una tecnología, esta tesis doctoral se va a centrar en la Fase 2, en el proceso de selección de la tecnología.

Como se ha referido anteriormente, una de las mayores dificultades que presenta la actividad de I+D en el ámbito del Manufacturing corresponde precisamente a la selección y adopción de nuevas tecnologías que proporcionen nuevas oportunidades de negocio para las empresas y, por consiguiente, nuevas áreas de desarrollo para los agentes tecnológicos. Esta dificultad, en cierta medida propiciada por la historia y la madurez del sector, y también por la naturaleza de los actores que lo configuran (agentes de investigación y empresas), que han basado su



estrategia en la constancia, la estabilidad y la profundización en las tecnologías supone un reto importante a superar para mantener la posición competitiva del sector.

### **1.3 Problema de Investigación**

En esta fase de identificación y selección de tecnologías, las actividades de identificación están muy estructuradas y son muy efectivas en los centros tecnológicos, que disponen desde hace años de metodologías y herramientas de Vigilancia Tecnológica que permiten una correcta y efectiva identificación de tecnologías, tanto en el entorno cercano como en cualquier campo de interés. Además, la presencia internacional de los centros, tanto en foros de divulgación científica, como en proyectos de investigación en colaboración, les proporciona una información fidedigna del Estado del Arte Tecnológico.

Sin embargo, se encuentran muy pocas evidencias, tanto en la experiencia propia como en la bibliografía consultada, sobre actividades sistemáticas o metodológicas en centros tecnológicos que aborden de manera integral el análisis de las tecnologías identificadas, de forma que permitan hacer una categorización, una evaluación y finalmente una toma de decisión sobre la idoneidad de apostar por el desarrollo de una nueva tecnología.

Respecto a las actividades de evaluación y selección de la tecnología, en la bibliografía se han encontrado abundantes experiencias de selección de tecnologías concretas en un nivel de madurez (TRL) alto, de cara a su implementación en empresas. También, aunque en un volumen muy inferior, se encuentran trabajos de selección de ámbitos tecnológicos de interés analizados por las administraciones públicas para la definición de sus programas de apoyo a la I+D (Tian et al., 2005). En ambos escenarios se han encontrado numerosas referencias en las que se utilizan métodos de toma de decisión multicriterio (en adelante MCDM) como herramienta central para la objetivización de la toma de decisión.

Sin embargo, son escasos los ejemplos relacionados con centros tecnológicos (Meesapawong et al., 2014; Mortazavi Ravari et al., 2016) y también con universidades, (Segarra-Blasco y Arauzo-Carod, 2008; Xu et al., 2020), que en un estadio más incipiente de las tecnologías, permitan llevar a cabo una evaluación y selección de tecnologías, analizando tanto el impacto esperado en el propio centro como en sus empresas cliente, teniendo en cuenta además el encaje de la tecnología en el centro y en sus clientes.

#### **1.3.1 Objetivo general de la tesis**

En esta coyuntura el objetivo básico de la presente tesis doctoral se define en los siguientes términos:

*Desarrollar un modelo que permita a un centro tecnológico, evaluar y tomar la decisión de abordar o descartar una(s) nueva(s) tecnología(s), de una manera ágil, atendiendo a los factores clave que caracterizan el escenario de actuación de la tecnología y el propio centro tecnológico.*

## 1. Introducción

Los aspectos clave a tener en cuenta en esa toma de decisión se ubicarán en torno a los siguientes criterios:

- Naturaleza y potencial de la tecnología: madurez y posibilidades de desarrollo futuro, aspectos relacionados con el mercado natural de aplicación de la tecnología, como la dimensión, la estructura, la competencia.
- Encaje y adecuación de la tecnología con el centro tecnológico y sus clientes: capacidades, equipamiento, estrategia.
- Impacto de la tecnología en el propio centro tecnológico y sus clientes: crecimiento, posicionamiento en el sector, sostenibilidad.

Bajo estas premisas, se pretende desarrollar un modelo que cuente entre sus características con una utilización ágil, amigable para su usuario en su configuración y resolución y lo más objetivo y replicable posible. El modelo debe permitir tanto comparar, clasificar y seleccionar entre varias alternativas, como tomar la decisión sobre un único caso, sobre una única tecnología de potencial interés que sea detectada por el centro.

Cumpliendo con estas características, el modelo objetivo debe ser útil para ser aplicado tanto en fases de planificación estratégica del centro tecnológico como en la toma de decisiones puntuales sobre una o varias tecnologías. No se pretende con ello que sea sustitutivo de otras herramientas habitualmente utilizadas en los procesos de Gestión de la Tecnología y la Estrategia, sino que puede complementar otras técnicas y herramientas o combinarse con ellas, proporcionando una información estructurada, cuantificada, visual, clara y fácilmente interpretable.

Adicionalmente a su aplicación en un centro tecnológico, se considera que el modelo podrá ser aplicado también por empresas que dispongan de estructuras de investigación propias (como Unidades de I+D) y de capacidades y estrategias de innovación basadas en la tecnología.

### 1.4 Estructura de la tesis doctoral

En los siguientes capítulos se detalla el trabajo de investigación desarrollado en esta Tesis Doctoral. Para ello, la investigación y el documento se estructuran según el esquema recogido en la figura 1:

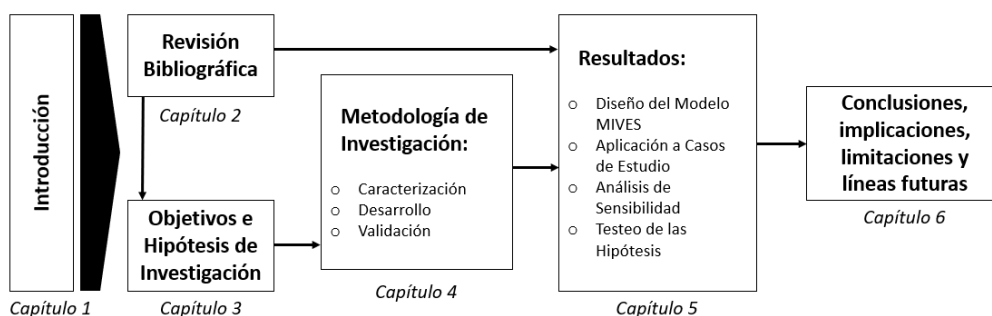


Figura 1: Estructura de la tesis doctoral

## 1. Introducción

El capítulo 2 contiene la Revisión Bibliográfica, estructurada en cuatro apartados en los que se analiza respectivamente:

- Apartado 2.2. Revisión de la literatura científica asociada al proceso de Gestión de la Tecnología, incluyendo los métodos multicriterio para la evaluación y toma de decisión sobre la selección de tecnologías
- Apartado 2.3: Revisión de los trabajos de investigación relacionados con modelos y mecanismos de relación entre agentes de investigación y sus empresas cliente
- Apartado 2.4: Revisión de la literatura sobre el concepto capacidad de absorción de la tecnología por parte de las empresas industriales.
- Apartado 4.5: Revisión de las particularidades del sector del Manufacturing y la Máquina-Herramienta, desde una visión global y local, focalizada ésta en el escenario vasco.

El capítulo 3 recoge la definición de los objetivos de detalle de la tesis doctoral y la formulación de las hipótesis de investigación en las que se soportan estos objetivos.

En el capítulo 4 se describe la metodología seguida en la investigación, estructurada en tres fases: caracterización, desarrollo y validación.

- Fase de caracterización: la primera fase recoge la identificación y selección de los factores clave del modelo para la construcción de la primera versión del árbol jerárquico. Esta fase se lleva a cabo en dos actividades: una primera selección a partir de un análisis de la literatura científica, y una segunda actividad de revisión y selección de los factores definitivos, ejecutada siguiendo el método Delphi, con el trabajo de un panel de expertos.
- Fase de desarrollo: comprende la configuración y construcción del modelo siguiendo el método MIVES (Viñolas et al., 2009), a partir del árbol jerárquico diseñado en la fase anterior, con la asignación de pesos a los criterios, requerimientos e indicadores y la valoración de los indicadores.
- Fase de validación: finalmente, en la fase de validación se aplica el modelo desarrollado a dos casos de estudio, se lleva a cabo el análisis de sensibilidad y se completa con un análisis de la perspectiva temporal que ofrecen los casos de estudio seleccionados.

En el capítulo 5, se describe con detalle el trabajo de investigación realizado en cada una de las fases referidas, caracterización, desarrollo y validación. Se describe el análisis de la literatura científica para la primera selección de factores del modelo, la configuración y actividad del panel de expertos según el método Delphi, las características del método MIVES y su aplicación a la tesis, con la asignación de pesos según el método AHP (Saaty, 1980) que incluye MIVES, y la valoración de los indicadores. Finalmente, se describen los casos de uso seleccionados para la fase de validación, con la particularidad de haber seleccionado dos situaciones reales de toma de decisión sobre la adopción de una tecnología vividos por el centro tecnológico Ideko en su reflexión estratégica para el período 2009-2012. Esta decisión

## 1. Introducción

permite incluir en la fase de validación la perspectiva en el tiempo que permite evaluar la evolución en el tiempo de la decisión tomada en cada caso y compararla con la configuración e hipótesis del modelo.

Finalmente, el capítulo 6 recoge las conclusiones finales de la tesis doctoral y las implicaciones y líneas futuras de investigación que abre el trabajo de investigación desarrollado.

## Capítulo 2

---

### **Revisión Bibliográfica**

## 2 Revisión bibliográfica

### 2.1 Introducción. Estructura del capítulo

El foco central de la tesis doctoral es la selección de las tecnologías en un centro tecnológico. Esta selección de tecnologías es uno de los aspectos clave en la actividad diaria de un centro tecnológico y, por tanto en sus procesos de gestión, de la misma manera que lo es en el proceso de gestión de la tecnología de cualquier entidad (Gregory, 1995), añadiendo las particularidades de un centro tecnológico, en su papel de adquisición, desarrollo y transferencia de la tecnología. La figura 2 recoge la estructura de este capítulo, descrita a continuación.

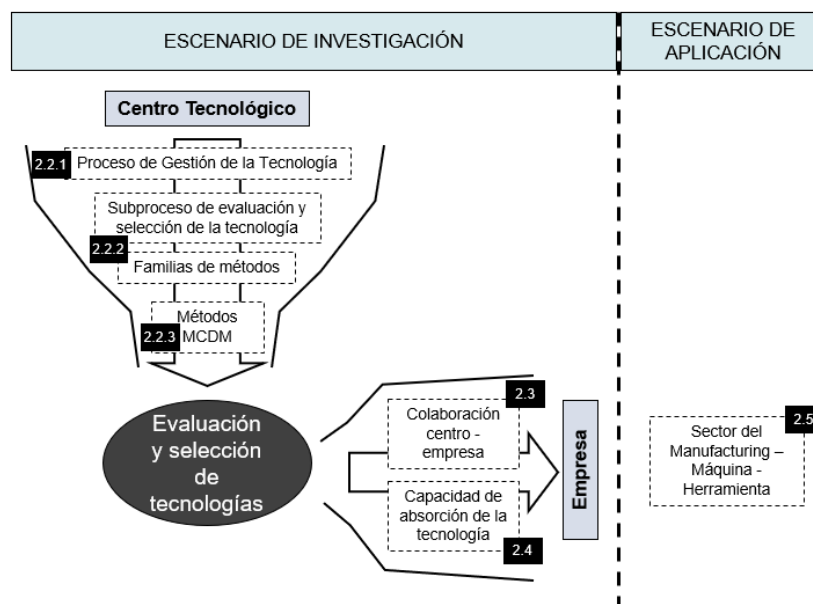


Figura 2: Estructura de la revisión bibliográfica

Tal como se representa en la figura 2, el primer apartado de la revisión bibliográfica se adentra en el campo de la gestión tecnológica, comenzando por una visión general del proceso de Gestión de la Tecnología y la Innovación (apartado 2.2.1), avanzando hacia una visión más detallada del subproceso de evaluación y selección de la tecnología, con un repaso de las diferentes familias de métodos desarrolladas en este campo (apartado 2.2.2), para finalmente centrarse en los Métodos Multicriterio (MCDM), en primer término con una visión general de los mismos, y completándola con una revisión de trabajos en los que los métodos MCDM son utilizados específicamente para la evaluación y selección de tecnologías (apartado 2.2.3).

Los apartados siguientes se centran en dos áreas que son importantes para entender el escenario de actividad de un centro tecnológico y, en particular, algunos de los factores que influyen en el éxito de la selección de la tecnología. Se trata de los aspectos relacionados con la transferencia de la tecnología y su industrialización, que deben ser tenidos en cuenta por el centro tecnológico para visualizar y proyectar el éxito final de las tecnologías que desarrolla. En este escenario, se ha considerado la importancia de la relación del centro con sus clientes

## 2. Revisión Bibliográfica

objetivo, y por ello se ha incluido un apartado en el que se revisan los tipos y mecanismos de relación y colaboración entre empresas y agentes tecnológicos (apartado 2.3) y por otra parte, se ha considerado la capacidad de las empresas para asumir e industrializar las tecnologías transferidas, identificada bajo el concepto de capacidad de absorción (apartado 2.4).

El último apartado de la revisión bibliográfica (apartado 2.5) se ha centrado en el escenario de aplicación de la tesis doctoral, el sector industrial del Manufacturing y la Máquina-Herramienta. Desde la visión de la importancia estratégica del sector, profundizando en las características específicas del mismo en términos de visión y capacidad tecnológica y finalmente las particularidades del sector en el entorno local.

### **2.2 Gestión de la Tecnología y la Innovación**

Los avances tecnológicos acelerados durante el siglo pasado y el flujo de información creciente, incrementado por la globalización, han hecho que los entornos económicos y sociales sean muy complejos y competitivos. Con mucha anterioridad, en 1911, Schumpeter (Fritsch, 2017) concluyó que la innovación, entendida como la aplicación comercial de ideas o invenciones, es la fuente de desarrollo y crecimiento. Especialmente en industrias altamente orientadas a la tecnología, la competencia tecnológica a escala global constituye un desafío significativo para las organizaciones (Sahlman, 2010). En un entorno operativo turbulento y complejo, la tecnología tiene un papel importante en la productividad, la innovación y el desarrollo de modelos de negocio. Las empresas luchan constantemente para adaptarse a cambios tecnológicos y optimizar las inversiones para nuevas oportunidades en el mercado. La tecnología puede constituir un elemento básico de diferenciación de la empresa, por lo que de su gestión se deriva su capacidad de mejorar sus procesos, de crear nuevos productos y servicios, de acceder a nuevos mercados y sectores cliente. La innovación tecnológica es un elemento clave en la medida de que también permite a personas y empresas utilizar los recursos existentes de manera más eficiente (Robledo, 2017). Sin embargo, no hay que olvidar que lo que ayuda a una empresa a ser competitiva no es la tecnología en sí misma, sino la capacidad que desarrolla la empresa para convertir la tecnología en negocio, alineada y en armonía con el resto de sus funciones estratégicas y organizativas, considerando su entorno y proceso dinámico (Cetindamar et al., 2009; Gudanowska, 2017). Con la gestión de la tecnología las empresas buscan maximizar sus ventajas competitivas, basadas en su capacidad de desarrollo e innovación tecnológica, agregando valor a sus productos y servicios.

La tecnología, como factor fundamental en la estrategia de competitividad de las empresas, requiere de una visión cuidadosa del alcance de su desarrollo. Es crucial identificar, analizar y evaluar las tecnologías disponibles, seleccionar las soluciones adecuadas y realizar actividades relacionadas con las tecnologías elegidas. Las empresas modernas se ven obligadas a controlar también las tendencias de los mercados emergentes en relación con las nuevas tecnologías (Halicka, 2016). La magnitud de la aparición de nuevas soluciones tecnológicas también requiere la necesidad de estimar su valor y, por otro lado, la rapidez con la que

## 2. Revisión Bibliográfica

cambian las necesidades de productos y el acortamiento de la vida de éstos, conlleva un acortamiento en el ciclo de vida de los productos industriales y con ello un acortamiento en el ciclo de desarrollo de la tecnología. Todos estos factores hacen necesario prestar una especial atención a la búsqueda del modo adecuado de gestión de la tecnología.

En este contexto, en ocasiones se tiende a confundir gestión de la tecnología con gestión de la innovación. La gestión de la innovación cubre todas las tareas de gestión relacionadas con todo tipo de innovaciones, no sólo generadas por la tecnología. Así mismo, la gestión de la tecnología cubre otras áreas de gestión relacionadas con la tecnología, además de la innovación (Cetindamar et al., 2016). Hamel y Breen (2007) distinguen cuatro categorías de innovación: innovación en la gestión, innovación estratégica, innovación en productos y servicios e innovación en procesos. Bajo esta clasificación, entienden que la gestión de la tecnología y la gestión de la innovación se solapan o coinciden sólo cuando una innovación se basa en la tecnología o, visto desde el perfil de la tecnología, cuando el desarrollo de una nueva tecnología induce una innovación en la gestión, la estrategia, los productos, servicios o procesos de la organización (Cetindamar et al., 2016; Hamel y Breen, 2007).

La gestión de la tecnología como campo de investigación ha manifestado un claro crecimiento en las últimas décadas. Este interés por la gestión de la tecnología se convirtió en una disciplina independiente con la aparición de organizaciones profesionales, como el EITIM (Instituto Europeo de Tecnología y Gestión de la Innovación), (Cetindamar et al., 2009). Ya en 1994, Tschirky (1994) indicó que la gestión de la tecnología, además de la necesidad de comprender el alcance y el potencial de las tecnologías actuales y futuras, así como el desarrollo de métodos que aumentan la fiabilidad de las decisiones relacionadas con las tecnologías, se había convertido en una de las principales áreas de investigación en sí misma (Tschirky, 1994). Según Beyhan y Cetindamar, el número de artículos publicados sobre gestión de la tecnología creció en los años 1995 - 2005 en más del 160%, en comparación con los años anteriores (Beyhan y Cetindamar, 2011). Se puede observar que después del año 2006 tuvo lugar un crecimiento significativo en el interés por el concepto de gestión de tecnología en el contexto de publicaciones indexadas (Gudanowska, 2017).

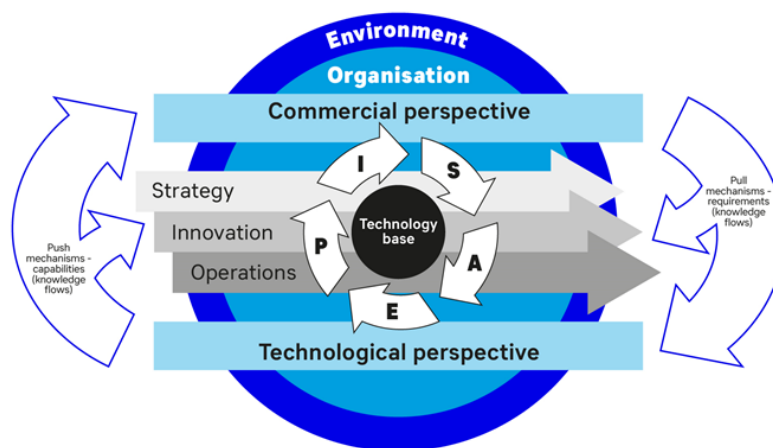
La definición más aceptada de gestión de la tecnología (Gregory, 1995), y adoptada también por el EITIM, se formula literalmente como "*Technology management addresses the effective identification, selection, acquisition, development, exploitation and protection of technologies (product, process and infrastructural) needed to maintain a market position and business performance in accordance with the company's objectives*". También en Estados Unidos, el National Research Council (NRC, 1987) adopta una definición similar, en estos términos: "*A process, which includes planning, directing, control and coordination of the development and implementation of technological capabilities to shape and accomplish the strategic and operational objectives of an organization*". Sobre este concepto otros autores (Cetindamar et al., 2009; Phaal et al., 2004) consideran que una perspectiva apropiada para comprender la gestión de la tecnología es la teoría de las capacidades dinámicas. Estos autores consideran



## 2. Revisión Bibliográfica

que la teoría de las capacidades dinámicas (Teece et al., 1997) ayuda a resaltar las capacidades más críticas que la organización y la dirección necesitan para mantener una ventaja competitiva en un entorno cambiante. Defienden que la clave de la competitividad de la empresa no reside en la innovación tecnológica sino en la capacidad derivada de ella de generar un flujo dinámico de productos, servicios y cambios en los procesos (Rush et al., 2007).

El concepto de gestión de la tecnología no debe limitarse a la gestión de un conjunto específico de tecnologías, sino también desarrollar la estrategia de su implementación en el aspecto de los recursos disponibles, las tecnologías utilizadas actualmente, el futuro del mercado y el entorno social y económico (Liao, 2005; Nazarko, 2019). Según Badawy (1998), la gestión tecnológica se reduce a la práctica de integrar una estrategia tecnológica en la estrategia comercial de una empresa, una integración que requiere una coordinación razonada de la investigación y la producción, así como la función de marketing, finanzas y recursos humanos en una empresa. La investigación de Cetindamar, Phaal y Probert (Cetindamar et al., 2009c), concluye que los temas básicos más trabajados y estructurados en el ámbito de la gestión de la tecnología son la organización, su cultura, estructura, competencias, conocimiento, creatividad; las políticas relacionadas con la tecnología, es decir, políticas y sistemas de gestión tecnológica, sistemas de innovación en el marco nacional, regional y sectorial; la adquisición de la tecnología, su adaptación, asimilación, difusión, y transferencia. Todas estas áreas de actividad las recogen en un marco o escenario para la gestión de la tecnología (Phaal et al., 2004).



**Figura 3:** Escenario de la Gestión de la Tecnología (Phaal et al., 2004)

Este escenario se basa en la idea de que la tecnología es un recurso y la base tecnológica de una empresa representa el conocimiento tecnológico que debe convertirse en productos, procesos y servicios a través de las capacidades tecnológicas desarrolladas por el proceso de gestión de la tecnología (Cetindamar et al., 2009). El marco enfatiza la naturaleza dinámica de los flujos de conocimiento que deben ocurrir entre las funciones comerciales y tecnológicas de la empresa, vinculadas a la estrategia, la innovación y los procesos operativos, para que la gestión de la tecnología sea efectiva (Phaal et al., 2004). Debe lograrse un equilibrio apropiado

## 2. Revisión Bibliográfica

entre los requisitos del mercado ("*pull mechanisms*" en la figura 3) y la propuesta de las capacidades tecnológicas ("*push mechanism*" en la figura 3).

Por ello, el escenario de la gestión de la tecnología se extiende en todos los procesos centrales de la organización: estrategia, innovación y operaciones. Se trata de identificar el conjunto de procesos que abordan tareas comunes que son clave del negocio para lograr los objetivos de la organización (Porter, 2006). La estrategia, la innovación y las operaciones son procesos a nivel macro que incluyen una gran cantidad de subprocesos, cada uno de los cuales se forma dentro de la organización para abordar sus objetivos y contexto particulares. Las organizaciones diseñan y ejecutan prácticas, rutinas, procesos que exigen la integración de una secuencia de tareas de trabajo relacionadas para lograr objetivos que varían mucho de una organización a otra. En cada caso, el marco básico de gestión de la tecnología puede aplicarse, adaptándose adecuadamente al contexto organizacional particular. Después de identificar los procesos concretos de despliegue de la estrategia, la innovación y las operaciones, las empresas pueden integrar en esos procesos de negocio el proceso de gestión de la tecnología, de manera sistematizada.

En el caso de los centros tecnológicos, la gestión de la tecnología y la innovación debe constituir el núcleo central de la estrategia y actividad de la organización. Atendiendo a la definición que hace de ellos la propia EARTO (*European Association of Research and Technology Organisations*), los centros tecnológicos pueden definirse como organizaciones especializadas en conocimiento dedicadas al desarrollo y transferencia de ciencia y tecnología en beneficio de la economía y la sociedad (EARTO). Dentro de esta acepción encajan diferentes naturalezas de organizaciones y diferentes matices sobre su actividad, que puede estar más orientada hacia la generación de conocimiento (cercanía a la universidad) o más centrada en los servicios y la transferencia de tecnología (cercanía a la industria) (Albors et al., 2014; Giannopoulou, 2016; Rincón-Díaz y Albors-Garrigós, 2013). En cualquier caso, los centros tecnológicos se encuentran en una posición central en la cadena de desarrollo del conocimiento y la tecnología que hace que sus procesos de gestión de la tecnología deban atender tanto a los aspectos relacionados con el conocimiento y la tecnología como a los relacionados con la transferencia y la implementación (Prager, 2011).

### 2.2.1 El Proceso de Gestión de la Tecnología

La definición de gestión de la tecnología de Gregory (1995), viene acompañada por un esquema del proceso en el que indica cinco áreas de actividad y subactividades bajo cada una de las cinco áreas (figura 4).

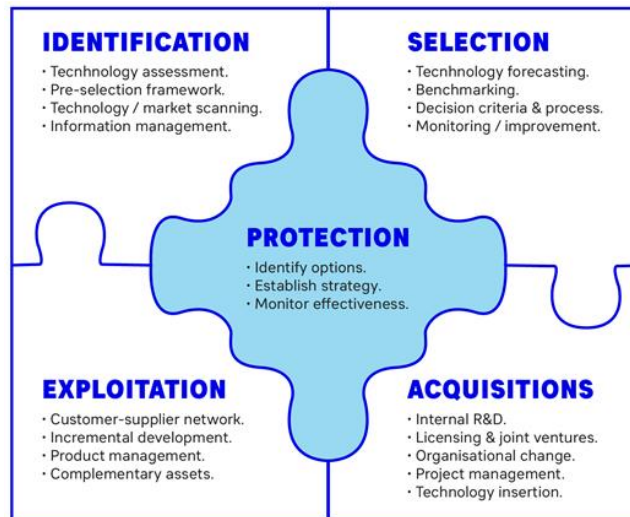


Figura 4: Esquema del Proceso de Gestión de la Tecnología (Gregory, 1995)

Uno de los aspectos clave en la gestión de la tecnología es el hecho de que no se entiende el proceso de gestión tecnológico o del I+D como un elemento aislado, sino como un proceso integrado en la estrategia de las empresas, que comprende aspectos estratégicos y operativos (Phaal et al., 1998). Por ello, se encuentran numerosos trabajos para el desarrollo de esquemas y marcos de aproximación globales (Brady et al., 1997; Chiesa et al., 1996; Probert et al., 1993; Stacey y Ashton, 2014; Tipping et al., 1995).

En esta línea, y siguiendo el esquema de proceso de Gregory, Phaal et al. (1998) desarrollan un modelo de proceso para las empresas de Manufacturing. Los objetivos de su trabajo son:

- Proporcionar un marco para vincular la tecnología con las necesidades del negocio.
- Identificar problemas críticos de gestión tecnológica en una empresa.
- Identifica y evaluar los procesos clave de gestión de la tecnología en el área de interés.
- Identificar áreas de fortaleza y debilidad, y por lo tanto áreas de mejores prácticas, y áreas de mejora.
- Conducir a las recomendaciones para los planes de acción, a partir de los análisis anteriores y con el soporte de la interdisciplinariedad.

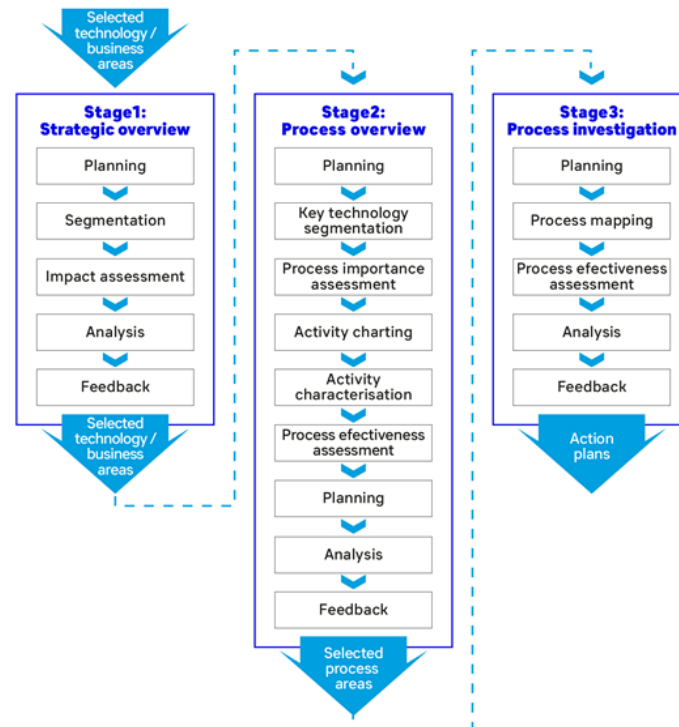
Para ello, estructura el proceso en tres fases concatenadas:

1. La Visión Estratégica, en la que define un marco para vincular la tecnología con los objetivos de negocio, y permite la selección de áreas prioritarias para una evaluación más detallada.

## 2. Revisión Bibliográfica

2. El enfoque de procesos se centra en las áreas de tecnología-negocio seleccionadas en la etapa 1, trazando y evaluando las actividades de gestión tecnológica en términos de los cinco procesos de la figura 4, lo que conduce a la identificación de los procesos clave.
3. La investigación de procesos. La investigación se centra en el análisis y evaluación de los procesos identificados durante la etapa 2.

El esquema de trabajo de esta metodología es el que se presenta en la figura 5.



**Figura 5:** Esquema de proceso de Gestión de la Tecnología presentado por Phaal et al (Phaal et al., 1998)

Dentro de cada uno de los tres bloques el método de trabajo se basa en la realización de una serie de talleres con expertos en los que van completando las diferentes tareas, completando matrices de relación entre las distintas áreas y elementos analizados, para valorar y clasificar las distintas opciones y realizar la selección a partir de ellas. La metodología está probada en numerosos casos industriales y los autores hacen un análisis final de su validez en base a tres criterios, coincidentes con los utilizados por otros autores como Chiesa et al. (1996) o Platts (1993): usabilidad, aplicabilidad y funcionalidad-fiabilidad.

Skilbeck y Cruickshank (1997) plantean una aproximación similar en la que aplican las cinco áreas del modelo de Gregory en tres estadios de la empresa: corporativo, focalizado en los aspectos de relación entre negocios y actores clave; de negocio, focalizado en aspectos de posicionamiento y competitividad; y operacional, focalizado en los aspectos de mejora interna.

Otros autores (Burgelman et al., 2001; Mahmood et al., 2013; Sahlman, 2010) se refieren a la importancia de la estrategia tecnológica. Defienden que la estrategia tecnológica es la base para la estrategia empresarial y la ventaja competitiva. Ayuda a responder a preguntas tales

## 2. Revisión Bibliográfica

como, qué tecnologías, competencias y capacidades son necesarias para alcanzar la ventaja competitiva, qué tecnologías se van a utilizar, cuál debe ser la estrategia para adquirirlas, cómo trasladar la tecnología al mercado incorporándola en los productos y servicios y cómo organizar el desarrollo tecnológico y la gestión tecnológica.



Figura 6 : Factores determinantes de la estrategia tecnológica (Sahlman, 2010)

De acuerdo a la definición de Burgelman et al. (2001), la estrategia tecnológica se ocupa de vincular la tecnología con las estrategias competitivas de la empresa, y ésta puede ser la base de la estrategia global. Es fundamental integrar todos los ámbitos de la gestión de la innovación tecnológica en un conjunto coherente. La estrategia tecnológica comprende la definición, desarrollo y uso de las competencias tecnológicas que constituyen la ventaja competitiva de la empresa (Dodgson et al., 2008).

Retomando el modelo de Gregory, con las cinco áreas de atención del proceso global, cada una de ellas se lleva a cabo a través de una serie de actividades básicas (Phaal et al., 2001):

1. Identificación de tecnologías: con actividades básicas como la asistencia a conferencias y ferias, análisis bibliográficos, estudio de la competencia, contactos con clientes para conocer sus inquietudes y tendencias.
2. Selección de aquellas tecnologías que se consideran necesarias para el desarrollo de las estrategias y productos futuros de la empresa. Para ello se utilizan métodos de análisis de expertos, predicciones de negocio e impacto, análisis económicos.
3. Adquisición (desarrollo) de las tecnologías seleccionadas. en esta área se abren diferentes posibilidades, dando respuesta a las diferentes situaciones y escenarios a los que se enfrenta la empresa: desarrollo propio de la tecnología a través de la I+D, adquisición de la tecnología desde terceros, colaboraciones y adquisiciones de otras empresas.
4. Explotación de la tecnología adquirida. En esta área entran en juego los aspectos organizacionales y productivos: nuevos productos, nuevas líneas de producción, generación de servicios, licenciación.
5. Protección de los activos tecnológicos de la empresa. Mediante medios legales como patentes, contratos, marcas, derechos de autor.

## 2. Revisión Bibliográfica

Algunos autores (Cetindamar et al., 2009; Rush et al., 2007) añaden una sexta fase de aprendizaje, que consideran clave ya que implica una reflexión sobre los proyectos y procesos tecnológicos llevados a cabo, como realimentación al proceso, y conexión con el área de gestión del conocimiento de la organización. Cetindamar et al. (2009) analizan también la relación entre las actividades específicas del proceso de gestión de la tecnología con otros procesos de la organización, en particular la gestión de proyectos, la gestión del conocimiento y la gestión de la innovación. Desde la visión del proceso de gestión de la tecnología consideran a estas actividades como actividades de apoyo, que pueden aplicarse a cada una de las fases del proceso de gestión de la tecnología. Así, por ejemplo, argumentan que cada actividad de gestión de la tecnología se puede considerar como un proyecto, por lo tanto, necesita conocimientos y habilidades para administrarla. De la misma manera, todos los procesos de gestión de la tecnología están involucrados con el conocimiento en algún nivel y necesitan adoptar la gestión del conocimiento.

Las actividades propuestas por Gregory (1995) no están necesariamente jerarquizadas entre sí, pudiendo además ocurrir que no todas las actividades estén presentes en la organización en todo momento (Cetindamar et al., 2009; Nissing, 2007). Estos autores argumentan que las actividades no siempre se inician en la fase de identificación, sino que por ejemplo es posible desarrollar ideas de investigación e invenciones a partir de una estrategia de patentes.

### **2.2.2 Subproceso de Evaluación y Selección de la Tecnología. Introducción sobre familias de métodos**

La selección de tecnología es uno de los procesos de toma de decisiones más importantes que una empresa, y más aún un centro tecnológico, debe abordar dentro de sus estrategias y actividades (Evans et al., 2013; Torkkeli y Tuominen, 2002). Este desafío se complejiza por la creciente disponibilidad de alternativas de tecnología a seleccionar y la necesidad de seleccionar la tecnología adecuada para lograr los objetivos de la organización. Además, los criterios para determinar la tecnología más adecuada pueden diferir según los requisitos específicos de una empresa y el contexto en el que se lleva a cabo el proceso (Shehabuddeen et al., 2006). Más aún, la selección de tecnología es un proceso que está estrechamente relacionado con otros procesos de la organización y está asociado con un entorno tecnológico, organizativo y comercial más amplio. Esta decisión abarca, por tanto, más que una pura evaluación técnica de las alternativas disponibles (Farooq y O'Brien, 2015).

Las organizaciones cuya estrategia de negocio está basada en la tecnología dependen de la actualización y renovación de las capacidades y recursos tecnológicos de que disponen y la identificación y explotación de nuevas tecnologías para seguir siendo competitivas y mantener el crecimiento (McNamara y Baden-Fuller, 1999). Para ello, estas organizaciones establecen diversas prácticas de gestión y administración de la tecnología e implementan estrategias y procesos de planificación de la tecnología para cubrir estas necesidades. Esta actividad se está volviendo más compleja debido a la creciente complejidad de las tecnologías, la convergencia de tecnologías, la creciente abundancia de opciones tecnológicas y la rápida difusión de las

## 2. Revisión Bibliográfica

tecnologías (Berry y Taggart, 1994; Lei, 2000; Steensma y Fairbank, 1999). La diversificación y dispersión de las fuentes de tecnología entre organizaciones y ubicaciones geográficas dificulta la tarea de acceder a las tecnologías adecuadas y seleccionar la opción más conveniente (Cantwell et al., 2004).

Stacey y Ashton (1990) describen la selección de tecnología como un proceso de priorización de alternativas de inversión tecnológica, lo que implica que la elección de la tecnología debe tener en cuenta los riesgos empresariales y tecnológicos involucrados en el cumplimiento de un objetivo organizacional. Matthews (1992) incide en este contexto no sólo tecnológico sino de negocio más amplio de selección de tecnología, situando el proceso como un componente clave en el desarrollo de la estrategia. Gregory (1995) define el proceso de selección de tecnología como la elección entre tecnologías que deberían ser apoyadas y promovidas dentro de la organización y considera que la selección de tecnología tiene que ver con la gestión de la I + D, las competencias y las capacidades de la organización y el desarrollo de nuevos productos (Shehabuddeen et al., 2006). En trabajos posteriores, Lamb y Gregory (Lamb y Gregory, 1997) sugieren que la selección de tecnología implica recopilar información de diversas fuentes y evaluar las alternativas entre sí o con algún conjunto de criterios que pueden ser de costo, beneficio y riesgo.

La abundancia de opciones tecnológicas, la complejidad organizativa de las organizaciones y el dinamismo del entorno hacen conveniente el uso de métodos estructurados para la selección de la tecnología. La mayoría de las decisiones empresariales sobre la elección tecnológica se han basado en la intuición, si bien en las últimas décadas se han desarrollado familias de métodos, técnicas y herramientas para ayudar a los profesionales en el desempeño de esas actividades (Shehabuddeen et al., 2006). Algunas de las principales familias son:

1. Métodos de **análisis coste-beneficio**. Utilizados sobre todo en la selección de tecnologías concretas en el ámbito empresarial, es uno de los bloques de métodos de investigación más popular, con multitud de variantes desarrolladas sobre el concepto base. Tipping et al. desarrollan el método que denominan *Technology Pyramid Value* (TVP) (Tipping et al., 1995) método que comprende 33 métricas de evaluación que van desde índices financieros hasta medidas organizativas para determinar el valor de las inversiones en I + D. McGrath y MacMillan (2000) introdujeron el método *Strategic Technology Assessment Review* (STAR), con una aproximación integral al negocio ya que tiene en cuenta variables de mercado, tiempo y coste de maduración, de comercialización, acceso al mercado, capacidades de la empresa, respuestas competitivas posibles, dependencia de normas y grado de incertidumbre. Argumentaron que la ventaja principal de este enfoque era que integraba consideraciones tanto tecnológicas como estratégicas. Ordoobadi y Mulvaney (2001) desarrollaron una herramienta denominada *System Wide Benefits Value Analysis* (SWBVA). Es una herramienta iterativa para decidir si una inversión en tecnología está justificada, a partir del análisis de su rendimiento económico. Chau y Parkan (1995)

## 2. Revisión Bibliográfica

---

proponen también un enfoque más integral que el puramente económico, con dos vertientes, por un lado un análisis de regresión para determinar las clasificaciones de los costes directos y, por otro la aplicación de un método multicriterio, *Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution* (TOPSIS) (Chen y Hwang, 1992) para identificar las clasificaciones con respecto a los beneficios operacionales. Hartman (1999) propuso lo que denominó *Technology Balance Sheet*, que complementaba el balance comercial con una evaluación del potencial tecnológico de una empresa. La evaluación de los aspectos tecnológicos y financieros podrían consolidarse en una evaluación global para llegar al verdadero valor de la tecnología con respecto a las capacidades de la empresa.

2. Métodos de **Análisis del Impacto**. Muy utilizados en la evaluación de ámbitos tecnológicos, dentro de las estrategias de administraciones públicas y grandes corporaciones industriales y tecnológicas. Ya en 1974, Coates introdujo algunos métodos y técnicas para la evaluación integral del impacto, como análisis de impacto cruzado, modelos de extrapolación, modelos de proyección y posicionamiento, árboles de decisión y árboles de relevancia (Coates, 1974). Ballard y Hall (1984) aplicaron la técnica *Integrated Impact Assessment* a un caso de estudio sobre desarrollo energético. Su aportación principal reside en que el enfoque se centró en cuatro aspectos de la tecnología y la organización: el contexto social y político, el enfoque analítico, la organización y la gestión, y las estrategias de participación y aplicación de los desarrollos. Palm y Hansson (2006) propusieron una nueva evaluación de la tecnología que introduce como factor diferenciador la evaluación de las implicaciones éticas de las nuevas tecnologías: *ethical Technology Assessment* (eTA), con el objetivo de identificar en una fase lo más temprana posible potenciales impactos negativos de la aplicación de la tecnología. Gordon introduce el análisis de impacto cruzado (Gordon, 1994), que desde entonces se ha utilizado ampliamente como un método de análisis de alternativas de futuro (Bishop et al., 2007), proporcionando una capacidad de reducir las incertidumbres, a través del análisis comparativo por pares de las alternativas evaluadas (Bradfield et al., 2005), identificando y analizando la interrelación entre los factores clave (Culka, 2018).

Los métodos de análisis de impacto están también interrelacionados entre sí y con otras herramientas de evaluación de alternativas. Así, la evaluación se realiza por parte de expertos, pudiéndose utilizar para ello diferentes herramientas como Delphi, y es también una herramienta habitualmente utilizada en el análisis de escenarios futuros (Alipour et al., 2017).

3. Métodos de **Análisis de Escenarios**. Es una metodología ampliamente adoptada en diversos campos de gestión. Es un método de descripción y análisis de alternativas futuras y por ello, uno de los más aplicados en estudios de futuro (Hafezi et al., 2019; Schoemaker, 1991). La creación de escenarios es importante por muchas razones,



## 2. Revisión Bibliográfica

---

entre ellas el análisis de posibles situaciones futuras y la evaluación de opciones estratégicas para los analistas (Mietzner y Reger, 2005). Varios autores la referencian como una visión dinámica (Schoemaker, 1991), que proporciona la descripción de la situación futura y el desarrollo del camino que conduce a esa situación futura (Godet, 2000; Gordon y Glenn, 2017; Jungk et al., 1996), incorporando además diferentes visiones (Schoemaker, 1991). Los diferentes tipos de escenarios se pueden distinguir por su marco y/o su objetivo (Hamrin et al., 2007). Diffenbach (1981) desarrolló un enfoque en tres pasos: formulación de problemas, compatibilidad de escenarios y procedimiento de evaluación de compatibilidad. Van Notten et al. (2003) crearon una categorización de tipos de escenarios en la que proponen tres categorías principales, basados en el "por qué" (objetivo), el "cómo" (diseño del proceso) y el "qué" (contenido). Cada una de las categorías está compuesta por una serie de factores, catorce en total, que las caracterizan. Por su parte, Börjeson et al., (2006) clasifican los escenarios en tres categorías: predictivos, en los que se trata de analizar qué ocurrirá en el futuro, exploratorios, en los que se trata de explorar situaciones o desarrollos que se consideran posibles y normativos, en los que se analiza las posibilidades y alternativas para alcanzar un objetivo concreto. Banuls y Salmeron (2007) propusieron un Modelo de Evaluación Basado en Escenarios (*Scenario-Based Assessment Mode*, SBAM) que aúna AHP, análisis de impacto cruzado, y Delphi.

4. El método **Roadmapping**. El *Roadmapping* ha sido ampliamente utilizado, no sólo en proceso de Gestión de la Tecnología, sino en ámbitos más amplios de la estrategia como herramienta de gestión y planificación, que proporciona un enfoque estructurado para ayudar a identificar las relaciones entre las tecnologías, los productos y los mercados existentes y en desarrollo, a lo largo del tiempo (Phaal et al., 2004). Se desarrolló inicialmente por Motorola para mejorar la alineación entre la tecnología y la innovación (Willyard y McClees, 1987). Después de esta primera experiencia de Motorola, la técnica se extendió a otras grandes empresas como Phillips, Royal Mail, General Motors, Lockheed Martin, Erickson y British Telecom (Vishnevskiy et al., 2015). Una prospectiva realizada por Phaal, Farrukh y Probert (Phaal et al., 2001) estimó que ya entonces el 10% de las empresas del Manufacturing habían utilizado la técnica. Esta utilización es mucho más elevada en la actualidad, cubriendo desde el ámbito tecnológico-industrial al académico y administrativo-gubernamental (Zhang et al., 2013). Un salto metodológico y de uso significativo se produjo con la publicación del libro "T-plan" (Phaal et al., 2001), una especie de guía práctica o *handbook* para la aplicación y utilización de la técnica, cubriendo desde el diseño de un *roadmap*, a dinámicas de trabajo para la aplicación, mantenimiento y actualización del *roadmap*. En este trabajo, los autores destacan la capacidad de la técnica para mostrar la relación entre la tecnología, el producto y el mercado. Según Groenveld (1997), para definir los productos de acuerdo a los requisitos del cliente, se requiere una buena comprensión del mercado y las aplicaciones, para a partir de estos requisitos, determinar las

## 2. Revisión Bibliográfica

---

funcionalidades del producto, y las tecnologías necesarias para realizar estas funciones. En este sentido, una característica diferenciadora del concepto de *roadmapping* tecnológico (TRM) es el uso de un marco estructurado, y habitualmente gráfico basado en el tiempo para desarrollar, representar y comunicar planes estratégicos, en términos de la evolución y el desarrollo conjuntos de tecnología, productos y mercados (Phaal, 2004). Lichtenthaler (2008) incide en la importancia de que el proceso TRM se alinee con la estrategia de la organización y considere no solo factores tecnológicos sino otros criterios de negocio.

A partir de estos conceptos básicos, el TRM se ha aplicado de muy diversas maneras, también en muchos casos combinándolo con otras técnicas de análisis y planificación. Así, Strauss y Radnor (2004) combinaron TRM con análisis de escenarios, argumentando que esta combinación proporciona mejores resultados en escenarios dinámicos y volátiles. En una línea análoga, Pagani (2009) aplicó el método SEARCH (*Scenario Evaluation and Analysis through Repeated Cross Impact Handling*) para estimar el impacto de las diferentes opciones tecnológicas en la evolución de un escenario y para evaluar los riesgos asociados a diferentes estrategias en diferentes condiciones futuras, bajo la premisa que esta técnica combinada permite abordar mejor situaciones en las que se analizan eventos que pueden verse afectados de manera cruzada. Kostoff et al. (2004) proponen un enfoque combinado en el que utilizan un análisis sistemático de la literatura para la identificación de tecnologías disruptivas, y en una segunda fase, en base a workshops y TRM realizan la evaluación, selección y proyección futura de las tecnologías. Por su parte, tanto An et al. (2008) como (Lee et al., 2016) presentan una metodología híbrida, en la que combinan TRM con el método *Quality Function Deployment* (QFD) para establecer interconexiones entre servicios, productos y tecnologías. La diferenciación del enfoque está en que permite separar las especificaciones relacionadas con los productos de las relacionadas con el servicio, permitiendo información más detallada y facilitando el análisis de las tecnologías y la configuración del roadmap.

Phaal et al. (2007) propusieron una metodología basada en talleres para la alineación de las tecnologías con las necesidades y perspectivas comerciales, para la identificación de las oportunidades estratégicas como parte de su método *T-Plan*. Holmes y Ferrill (2005) introdujeron una variación sobre el *T-Plan*, denominada OTR (*Operation and Technology Roadmap*), que incluye elementos de análisis de cuestiones operacionales en las primeras fases de análisis y selección de tecnologías emergentes. Gerdri y Vatananan (2007) aplican AHP para cuantificar el impacto, tanto intangible como tangible de las tecnologías analizadas en el TRM. En esta investigación, además incluyen criterios operativos a través del método *Technology Development Envelope* (TDE) (Gerdri y Vatananan, 2007).

**5. Vigilancia, monitorización y evaluación de nuevas tecnologías.** En este grupo se

## 2. Revisión Bibliográfica

enmarcan herramientas como la vigilancia tecnológica para la identificación de tecnologías y diversas técnicas de análisis básico. La Vigilancia Tecnológica se define como un proceso sistemático de investigación que permite captar información sobre tecnologías y convertir esta información en conocimiento para apoyar la toma de decisiones («UNE 166006:2018», 2018). La Vigilancia y/o monitorización de la Tecnología, son elemento clave en las estructuras de gestión de la I+D+i, proporcionando acceso y contextualización de los conocimientos científicos y técnicos que pueden permitir desarrollar soluciones a las cuestiones y retos planteados por las empresas (Johannessen y Olsen, 2010). Dentro de este grupo de técnicas, se incluyen diferentes métodos de adquisición y análisis de la información. El análisis de patentes es muy utilizado, como parámetro de monitorización del impacto de una tecnología. Un gran número de investigadores han reconocido la importancia reconocer que las patentes son herramientas sustanciales para estudiar la evolución de la tecnología en los mercados. Dado que la tecnología patentada se considera un factor decisivo para lograr el éxito del mercado y un activo valioso para muchas industrias, los puntos de referencia de las patentes proporcionan una visión útil de la posición competitiva de una empresa (Ernst, 2003), mientras que la evaluación de la cartera de patentes proporciona una manera de comparar los conocimientos tecnológicos de las empresas objetivamente (Ernst, 2003; Fabry et al., 2006; Grimaldi et al., 2015). Además, como las patentes normalmente anticipan la aplicación real de la tecnología, también son una referencia para analizar y tener una perspectiva sobre el futuro escenario competitivo (Ernst et al., 2010). En entornos académicos y científicos la revisión sistemática de la literatura (Kitchenham, 2004) es el método más habitual para llevar a cabo la identificación y revisión de las tecnologías disponibles. La metodología de la vigilancia tecnológica industrial y de la revisión sistemática de la literatura comparten un esquema análogo, diferenciándose en una mayor agilidad del proceso de vigilancia frente una mayor sistemática y rigor del proceso académico (López et al., 2016), con una tendencia creciente a una confluencia entre ambos métodos aprovechando las virtudes de ambos. A partir de la identificación de la cartera de tecnologías de potencial interés, se han desarrollado diferentes técnicas de filtrado y selección progresiva de las tecnologías más adecuadas. Así, Yap y Souder (1993) desarrollaron un método de filtrado en dos fases para el análisis y selección de tecnologías. Una primera etapa de filtrado masivo, en el que se elimina todas las tecnologías que no se ajustan a la misión, estrategia y capacidades de la organización. En la segunda fase, se hace un análisis más detallado de las tecnologías preseleccionadas, con un equipo más extenso, fomentando la participación interdepartamental para asegurar una visión global. Benson et al. (1993) proponen, en un trabajo aplicado a la selección de tecnologías emergentes en microelectrónica, una metodología de filtrado en tres fases en las que analizan los factores de mercado, capacidades y organización de la empresa y el propio factor tecnológico. En este grupo de aproximaciones se enmarca

## 2. Revisión Bibliográfica

también el más conocido *Technology Radar* (Rohrbeck et al., 2006) desarrollado por Deutsche Telekom, que se lleva a cabo en tres fases de filtrado progresivo (identificación, selección y evaluación), con equipos de expertos de diferentes perfiles en cada una de ellas. Uno de los factores diferenciales de esta técnica es precisamente la representación gráfica que le da nombre, en la que se distribuyen las tecnologías seleccionadas en una figura segmentada en sectores seleccionados por la organización, típicamente el mercado, la organización, la competencia, las características de la propia tecnología, y siendo la madurez de la tecnología la que se representa radialmente en el radar (Färber, 2016). Esta representación se utiliza para una evaluación y seguimiento de la evolución en el tiempo de las tecnologías.

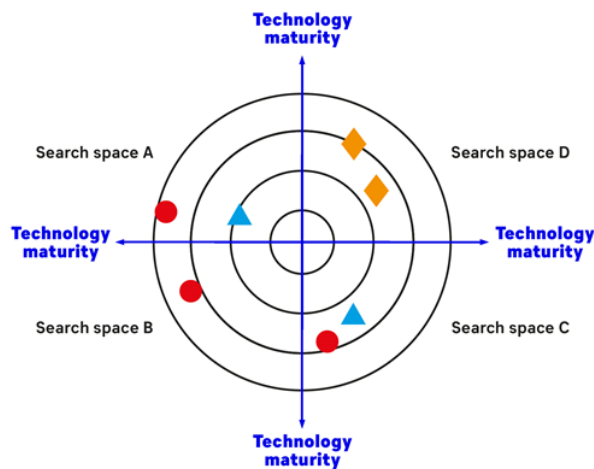


Figura 7: Representación del Technology Radar (Färber, 2016)

Una metodología que presenta cierta analogía es el *Technology Portfolio* (Pfeiffer, 1982), también muy valorada por la claridad de la visualización gráfica del posicionamiento de las tecnologías evaluadas. En un formato matricial se representan las tecnologías relevantes, con el atractivo tecnológico en uno de los ejes y el encaje con la organización en el otro eje. Los parámetros o criterios en base a los que se concretan ambos ejes varían de unos autores a otros. Así, Specht et al. (2002) consideran el atractivo técnico y económico y tienen también en cuenta los riesgos asociados a la tecnología. Por su parte, Brockhoff (1999) incluye como factor el posicionamiento competitivo de la empresa respecto a la tecnología y frente a sus competidores, con un análisis de fortalezas y debilidades. Siguiendo la línea de Pfeiffer (1982), Spath y Renz (2005) introdujeron como parámetros de caracterización de los aspectos organizativos los aspectos financieros, equipo técnico, conocimiento, disponibilidad de otros recursos, mientras que la evaluación de la tecnología la asociaron al potencial y la demanda del mercado.

**6. Métodos matemáticos y de síntesis.** Este bloque recoge métodos diversos de evaluación tanto cualitativa como cuantitativa, que incluyen desde sofisticados modelos matemáticos hasta marcos conceptuales de perspectiva amplia. Ejemplos significativos

## 2. Revisión Bibliográfica

son los modelos matemáticos desarrollados por Sharif y Sundararajan (1983) y Liang et al. (1999). El modelo de Sharif y Sundararajan se estructura en cuatro pasos: 1) identificación de factores que afectan la selección de la tecnología; 2) clasificación de todos los factores identificados; 3) formulación de un modelo general en términos de la clasificación; y 4) cuantificación de los términos del modelo. El trabajo de Liang se centra en la definición de una estrategia tecnológica basada en el concepto de dominio tecnológico. Para ello crea una estructura jerárquica para el problema de selección de estrategias combinando los conceptos de selección tecnológica y previsión tecnológica. Geisler (2002) presenta una revisión detallada para la configuración de métricas de evaluación de la tecnología, incluyendo métodos econométricos, estudio de patentes, impacto en proceso y bibliometría. Entre estos métodos se incluyen también, con un creciente protagonismo, los métodos de toma de decisión multicriterio (MCDM) que se describen con más detalle en el apartado siguiente.

Como se ha descrito a lo largo del apartado, además de su relevancia como métodos cuantitativos, se han identificado varios trabajos en los que se aplican técnicas de toma de decisión multicriterio como herramienta de trabajo, combinándolos con otros métodos cualitativos (Banuls y Salmeron, 2007; Chen y Hwang, 1992). Este es un interesante enfoque para esta tesis, en la que no se plantea desarrollar una metodología que sustituya a las ya conocidas, sino un modelo que pueda aplicarse complementariamente, aportando una objetivización de criterios de análisis y, sobre todo, una visión integral desde la perspectiva de un centro tecnológico, integrando todos los factores que lo rodean.

### **2.2.3 Métodos Multicriterio para la Identificación y Selección de Tecnología**

Los Métodos de Decisión Multicriterio (MCDM) constituyen una familia de herramientas de análisis que, si bien la propia *International Society on MCDM* referencia desde Benjamin Franklin («Short MCDM History»), desde su aparición más estructurada en la década de 1960 (Ghaleb et al., 2020; «Short MCDM History») han ido ganando importancia en el análisis de problemas complejos debido a su capacidad inherente para juzgar diferentes alternativas a partir del establecimiento, valoración y ponderación de criterios, homogéneos o heterogéneos, para la selección de la alternativa más adecuada. Las características diferenciales de los métodos residen precisamente en que permiten la incorporación de múltiples criterios no proporcionales y de naturaleza heterogénea, cualitativos y cuantitativos, con diferentes unidades de medida entre ellos, y la presencia de alternativas muy diferentes (Kolios et al., 2016; Mohindru, 2011). Según la definición de la propia *International Society on MCDM* "Multi-Criteria Decision Making (MCDM) is the study of methods and procedures by which concerns about multiple conflicting criteria can be formally incorporated into the management planning process" (Alias et al., 2008). Esta versatilidad les ha permitido ser aplicados en áreas tan diversas como energía, medio ambiente y sostenibilidad; gestión estratégica; gestión de la producción; gestión de la cadena de suministro; gestión de la calidad; gestión de proyectos;

## 2. Revisión Bibliográfica

seguridad y gestión de riesgos; sistemas de fabricación, tecnología y gestión de la información; desarrollo de software y hardware; gestión turística; educación, programas de administración pública (Mardani et al., 2015; Stojčić et al., 2019).

Así mismo, a partir de las primeras técnicas de referencia como son *Analytic Hierarchy Process* – AHP (Saaty, 1980), *Elimination et Choix Traduisant la Realite* - ELECTRE (Roy, 1968), *Preference Ranking Organization Method Of Enrichment Evaluation* – PROMETHEE (Brans, 1982), se han desarrollado más de 70 técnicas de toma de decisiones multicriterio (Alias et al., 2008). Stojčić et al. (2019) llevan a cabo una extensa y detallada búsqueda bibliográfica, en artículos publicados entre los años 2008 y 2018, en la que identifican casi cinco mil trabajos publicados que utilizan métodos MCDM para la toma de decisión en diferentes ámbitos de la ciencia y la tecnología, que los autores estructuran en trece áreas. Entre ellas, incluyen varias áreas relacionadas con esta tesis doctoral, como son Engineering Manufacturing y Engineering Industrial, con un buen número de referencias, como se recoge en la figura 8.

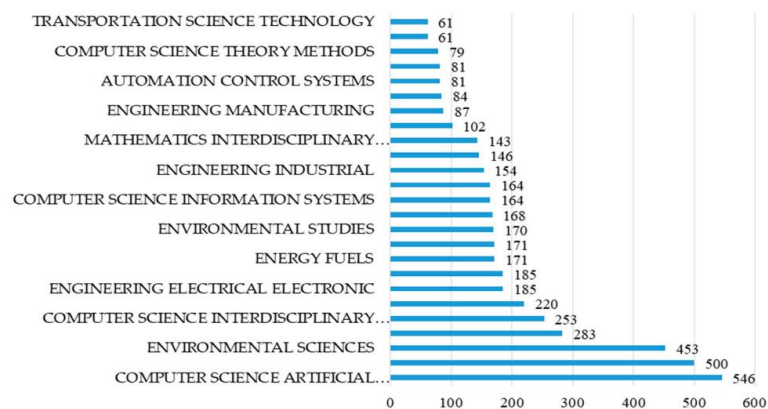


Figura 8: Artículos referidos al uso de métodos multicriterio (Stojčić et al., 2019)

El esquema básico de estructuración de los métodos multicriterio tiene tres fases (Triantaphyllou, 2000): definición de las alternativas a evaluar y los criterios que las caracterizan, asignación de valores numéricos a la importancia relativa de los criterios y al impacto de las alternativas, y procesamiento de los datos numéricos para obtener un ranking entre las alternativas analizadas. A partir de esta estructura básica, se establecen las diferencias entre los diferentes métodos.

A continuación se recogen y describen, brevemente, los Métodos de Selección Multicriterio más utilizados. Algunos de ellos se presentan como variantes o evoluciones sobre los más tradicionales. Como se ha mencionado anteriormente, el número de variantes desarrolladas en las últimas décadas es altísimo. Los aquí descritos son los más utilizados y los más referenciados en análisis comparativos identificados en la bibliografía, algunos de estos análisis son genéricos (Alias et al., 2008; Kolios et al., 2016; Triantaphyllou, 2000), comparando los atributos de los métodos, mientras que una gran mayoría de trabajos analizan la adecuación de los diferentes métodos a un ámbito de toma de decisión concreto (Athawale y Chakraborty, 2011; Caterino et al., 2008; İ. Kaya y Kahraman, 2014; Kolios et al., 2016; Kumar et al., 2017; Stojčić et al., 2019). Esta recopilación y descripción de métodos no tiene como objetivo llevar a

## 2. Revisión Bibliográfica

cabo una comparación exhaustiva entre ellos para la selección del método a utilizar en la tesis, sino dar una referencia sobre las características y aplicaciones de los métodos más representativos.

### **2.2.3.1 Descripción de métodos MCDM más significativos**

**AHP (*Analytic Hierarchy Process*)**, es el método más referenciado en la literatura, tanto en trabajos en los que se aplica directamente como en otros en los que el método se utiliza como base para el desarrollo de otros métodos, ya sea modificaciones y variantes de AHP o combinaciones de él con otros métodos, como se describirá más adelante. Desarrollado por Thomas Saaty (Saaty, 1980, 1987), básicamente es una herramienta para la toma de decisiones complejas, que tiene como objetivo ayudar al analista a establecer prioridades, comparativas y tomar la mejor decisión a partir de ellas. El fundamento para ello es la descomposición de un problema complejo en un sistema de jerarquías (alternativas, criterios, subcriterios), sobre el que se trata de reducir las decisiones complejas a una serie de comparaciones por parejas, en cada nivel, y una asignación de pesos, en ambos casos realizados por el evaluador o equipo evaluador, que derivan en la valoración cuantitativa, adimensional de las alternativas planteadas, para poderlas comparar y clasificar. El número de niveles, de criterios y subcriterios en que se estructura el sistema debe guardar un equilibrio entre ser suficientemente alto para caracterizar correctamente el sistema, pero suficientemente reducido para ser sensible a los cambios y para ser amigable en su utilización (Saaty, 1987). Es importante señalar que, dado que algunos de los criterios y subcriterios pueden tener tendencias contrarias, el método trabaja de forma que, en general, la mejor opción no es la que optimiza cada criterio, sino la que consigue el equilibrio más adecuado entre los diferentes criterios (Saaty, 1987; Vaidya y Kumar, 2006).

La relevancia y difusión del método se evidencia tanto en el volumen y diversidad de trabajos que lo aplican en diferentes ámbitos como también en el elevado número de trabajos orientados a optimizarlo o complementarlo para mejorar sus resultados. En el primero bloque de trabajos se encuentran investigaciones en sectores como el de la salud (Cheever et al., 2009; Liberatore et al., 2003), la educación (Liberatore et al., 1992), el transporte (Caliskan, 2006; Ferrari, 2003) y la logística (Fung et al., 1998; Tiwari y Banerjee, 2001; Zhang et al., 2012), y especialmente la gestión en diferentes áreas de negocio, en particular en la industria. En este campo, se ha demostrado que la flexibilidad de AHP es útil en toda la cadena de actividad. Desde procesos de planificación estratégica (Cebi y Kahraman, 2010; Sarfaraz et al., 2012), priorización de las actividades en el proceso de desarrollo de producto (Salgado et al., 2012), análisis de tecnologías para la diversificación (Muerza et al., 2014), procesos de selección de proveedores (Chan et al., 2008; Che, 2010; Vahdani y Zandieh, 2010), introduciendo variantes como el trabajo de Handfield et al. (2002) que incluye criterios medioambientales en el análisis AHP para la evaluación de proveedores, el presentado por Labib (2011) que destaca el valor de AHP para abordar la subjetividad inherente a las evaluaciones humanas y por ello su utilidad en el proceso de selección del proveedor más

## 2. Revisión Bibliográfica

adecuado o investigaciones orientadas a la gestión de la calidad en toda la cadena de suministro (Kuei et al., 2011; Murata y Katayama, 2013). También para la selección de medios productivos, como el trabajo de Ic et al. (2012), en el que proponen un modelo AHP para el análisis de las especificaciones técnicas proporcionadas por los proveedores de maquinaria, la selección de software de gestión (Sarkis y Talluri, 2004), o la gestión de recursos productivos (Ramanathan y Ganesh, 1995). Singh y Singh (2011) desarrollan un enfoque basado en AHP de tres niveles jerárquicos para el diseño de instalaciones de producción flexibles y reconfigurables bajo criterios multiobjetivo.

La relevancia del método se evidencia también en el elevado número de trabajos que han planteado alternativas de mejora a partir del concepto básico de Saaty, introduciendo variantes sobre el propio método, o combinándolo con otros, para enriquecerlo. Un número considerable de trabajos se ha desarrollado alrededor de los mecanismos de valoración y toma de decisión. La asignación de pesos y la comparación de pares se realiza por el evaluador o equipo evaluador, con el consiguiente factor subjetivo, pudiendo producirse valoraciones no correctas o surgir incoherencias entre los evaluadores (Brunelli et al., 2013). Estos autores, en diferentes trabajos (Brunelli y Fedrizzi, 2015) desarrollaron herramientas para incrementar la fiabilidad de la decisión, con una nueva visión del cálculo del índice de inconsistencia del método. La importancia de la medición del índice de inconsistencia focaliza la investigación tanto de trabajos orientados a aplicaciones concretas del método, (Bulut et al., 2012; Duru et al., 2012; Jin et al., 2010; Lee et al., 2012), como de otros desarrollados en el contexto de la toma de decisiones en grupo (Aguarón et al., 2016; Lee et al., 2012; Zhang et al., 2012). Un avance en esta línea fue propuesto por Grzybowski (2016), quien a partir de una revisión de otros trabajos en la misma línea (Aguarón et al., 2016; Koczkodaj, 1993), defiende que el índice de inconsistencia original de Saaty no es, en el sentido matemático, una medida, y propone una nueva manera de calcularlo, en base al valor medio de tres índices. En el cometido de asegurar la coherencia de la toma de decisión, Dong y Cooper (2016) proporcionan un mecanismo automático de retroalimentación para garantizar la preservación de la coherencia, y la toma de decisión consensuada dentro del grupo, evitando posibles incoherencias en el moderador. Para superar este posible juicio arbitrario del responsable de la toma de decisiones, que puede conducir a una inconsistencia, otros autores (Bhattacharya et al., 2005, 2010) proponen la combinación de AHP y *Quality Function Deployment* (QFD). Otras combinaciones de métodos a partir de AHP se pueden encontrar en autores como Ertay et al. (2006), que proponen la aplicación de *Data Envelopment Analysis* (DEA) para el análisis de los criterios cuantitativos y AHP para los criterios cualitativos. Zhang et al. (2006) también utilizan esta combinación de criterios subjetivos y criterios objetivos en un proceso de selección de proveedores. Anvari et al. (2014), en un proceso de análisis de herramientas *Lean Manufacturing*, introducen con esta aproximación combinada la novedad de incluir variables favorables y desfavorables en el análisis. La combinación con *Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution* (TOPSIS) también se encuentra en la literatura. Yurdakul y Iç (2005) proponen un modelo para la medición del rendimiento de una empresa de fabricación evaluando el éxito de sus diferentes



## 2. Revisión Bibliográfica

actividades operativas. Utilizan AHP para ponderar las dimensiones y sub-dimensiones y a continuación, los pesos y las puntuaciones de rendimiento se combinan mediante TOPSIS. Kaya y Kahraman (2014) aplican AHP y TOPSIS a la evaluación de edificios inteligentes en un entorno difuso para hacer frente a la incertidumbre y la imprecisión de las evaluaciones subjetivas. También es producto de una combinación de métodos y una aportación de mejora sobre AHP el método Modelo integrado de Valor para Evaluaciones de Sostenibilidad (MIVES) (Viñolas et al., 2009). Desarrollado y aplicado habitualmente en el sector de la construcción (Cuadrado et al., 2016; Pujadas et al., 2017a) presenta como aportaciones fundamentales la utilización de Delphi como herramienta para la valoración y ponderación de los criterios y alternativas y, especialmente, la introducción de unas funciones de valor personalizables a cada caso de aplicación, para la objetivización de la evaluación de los indicadores de último nivel, optimizando la precisión y fiabilidad del método. El método MIVES es elemento central de esta tesis doctoral, por lo que será referenciado y descrito con detalle en capítulos posteriores.

**ANP (*Analitic Network Process*).** Continuando con las adaptaciones orientadas a perfeccionar AHP, el propio Saaty (Saaty, 1996, 2004; Saaty y Vargas, 2013) desarrolló este nuevo método, que el autor presenta como una generalización de AHP, considerando la interdependencia entre los elementos de la jerarquía (Saaty y Vargas, 2013). Los autores defienden que para muchos problemas de decisión la estructura puramente jerárquica no es la más adecuada, porque existen interacciones y dependencias de elementos de nivel superior con elementos de nivel inferior. Por ello, ANP está representado por una red, en lugar de una jerarquía, con ciclos que conectan los elementos, que ya no podemos llamar niveles, y con bucles que conectan un componente a sí mismo. El reto del nuevo método consiste en determinar las prioridades de los elementos de la red y, en particular, las alternativas de la decisión y aún más la validez del resultado. Dado que la retroalimentación implica ciclos, y este proceso puede derivar en un bucle infinito, las operaciones necesarias para definir las prioridades se vuelven más críticas que en AHP. Para Taslicali y Ercan (2006) esta característica es una ventaja en entornos de decisiones dinámicos y con elevada incertidumbre. Para estos autores también se incrementa la precisión y se reduce la subjetividad del método, ya que, si bien ambos métodos se basan en las preferencias definidas por los evaluadores entre los criterios y los pesos otorgados a las alternativas, difieren entre sí en el número y los tipos de comparaciones por pares, y también en la forma en que los pesos de utilidad se calculan. En aplicaciones relacionadas con entornos muy cambiantes, que integran aspectos sociales, de comportamiento, y de interrelación con el entorno, los objetivos de decisión pueden no ser fácilmente identificables porque se correlacionan con otros elementos, también difusos. En estos casos, ANP se presenta más adecuado (Tran et al., 2004). En esta misma línea de razonamiento Garuti y Sandoval (2005) defienden que la sustitución de la estructura jerárquica por la matricial permite a ANP acercarse más al comportamiento del modelo a la realidad que representa.

También ANP ha sido objeto de combinaciones con otros métodos MCDM, especialmente DEMATEL y TOPSIS) en aplicaciones a problemas de evaluación y selección de alternativas

## 2. Revisión Bibliográfica

en sectores muy diversos. En el sector de la construcción civil se localiza el trabajo de Liu et al. (2020) que combinan ANP y DEMATEL, el primero para la asignación de pesos y el segundo para el análisis de las relaciones entre los criterios, en un caso de selección de edificios medioambientalmente eficientes. La misma dupla de métodos es la seleccionada por Kiani Mavi y Standing (2018) para el análisis de los criterios de éxito en la gestión de proyectos de construcción civil. Otro caso de aplicación radicalmente diferente en el mismo sector, abordado a través de DEMATEL- ANP se presenta en el trabajo de Pourahmad et al. (2015), centrado en la selección de la localización idónea para la construcción de espacios de ocio en áreas urbanas marginales. En el sector de la energía se pueden localizar referencias relacionadas con la planificación de la construcción de oleoductos (Dedasht et al., 2017; Fazli et al., 2015), aplicando DEMATEL y ANP por la variabilidad y dinamismo de los factores intervinientes, analizando los principales riesgos abordados o problemas relacionados con la selección (Büyüközkan y Gülerüz, 2016) o la gestión de energías renovables (Cayir Ervural et al., 2018). En el área del transporte también se encuentran aplicaciones diversas, desde el trabajo de Chen (2016) para seleccionar criterios de calidad en el transporte aéreo taiwanés frente a la competencia de otros medios de transporte, combinando DEMATEL y ANP, a trabajos para gestionar el estrés de controladores aéreos, combinando DEMATEL, PROMETHEE II y ANP (Bongo et al., 2018) o investigaciones para mejorar el impacto de la actividad de logística dentro de las ciudades (Tadić et al., 2014) integrando DEMATEL, ANP y VIKOR. En el ámbito más general de la tecnología y la gestión, Fazli et al. (2015) y Sinrat y Atthirawong (2014) abordan el problema de gestión de riesgos en la cadena de suministro, combinando ANP con DEMATEL y TOPSIS respectivamente. Govindaraju et al. (2015) combinan TOPSIS y ANP para la evaluación y selección de proveedores bajo la perspectiva de buscar partenariados a largo plazo, mientras que Abdel-Basset et al. (2018), con la misma combinación de métodos buscan la sostenibilidad de los proveedores como criterio de selección estratégica. Cui y Fang (2016) proponen una modelo ANP-DEA para evaluar la complejidad de proyectos de ingeniería y Nouri et al. (2015) utilizan ANP y TOPSIS para la selección de tecnologías en el entorno de *Advanced Manufacturing Technologies* a través de un modelo que estructuran en tres dimensiones: humana, operativa y financiera. Para ello, aplican ANP para definir las relaciones e interdependencia entre factores y TOPSIS para clasificar las alternativas y seleccionar la mejor solución. Los autores defienden que la heterogeneidad de los factores y, especialmente, el alto nivel de incertidumbre del escenario de aplicación, hacen particularmente favorable la combinación de los dos métodos

**PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method Of Enrichment Evaluation)** fue creado por Brans (1982), que presentó en la conferencia *L'Ingénierie de la Décision. Elaboration d'instruments d'Aide à la Décision* las versiones I (clasificación parcial de alternativas) y II (clasificación completa de las alternativas). El método ha sido objeto de evoluciones: unos años más tarde Brans y Mareschal desarrollaron PROMETHEE III (clasificación basada en intervalos) y PROMETHEE IV (clasificación completa o parcial de las alternativas cuando el conjunto de soluciones viables es continuo). Los mismos autores

## 2. Revisión Bibliográfica

propusieron en 1988 el módulo visual interactivo GAIA (*Geometrical Analysis for Interactive Aid*) que proporciona una representación gráfica apoyando al método PROMETHEE (Mareschal y Brans, 1988). En 1992 y 1996, Brans y Mareschal propusieron dos nuevas extensiones: PROMETHEE V (incluyendo restricciones de segmentación) (Brans y Mareschal, 1992) y PROMETHEE VI (que incluye una herramienta de sensibilidad que los autores llaman “*human brain*”) (Brans et al., 1996). El método se ha materializado, además, en un software comercial, denominado *DECISION LAB*, desarrollado por la empresa canadiense Visual Decision, en cooperación con los creadores, sustituyendo al software *PROMCALC* que los autores habían desarrollado previamente (Brans et al., 2005). El método es ampliamente utilizado en diferentes campos, como se describirá a continuación. Sus creadores defienden que el éxito del método se debe básicamente a sus propiedades matemáticas y a su particular facilidad de uso (Brans et al., 2005).

En cuanto a los campos de aplicación, la gestión medioambiental es el campo más popular en las aplicaciones de PROMETHEE. Petras (1997) aplicó PROMETHEE II con el fin de clasificar las localizaciones de las instalaciones de eliminación de residuos radiactivos en Croacia. Queiruga et al. (2008) utilizaron PROMETHEE, combinado con un análisis de expertos, para clasificar a los municipios españoles de acuerdo a su idoneidad para la instalación de plantas de reciclaje de residuos. Vaillancourt y Waaub (2004), utilizaron PROMETHEE II para clasificar regiones o países, para tener en cuenta cuestiones de equidad en el proceso de asignación de derechos de emisión de gases de efecto invernadero.

La gestión de recursos hídricos es otro de los campos de aplicación, en estudios dirigidos a la planificación sostenible de los recursos hídricos, la evaluación de estrategias de gestión del agua y la planificación del riego. Simon et al. (2004) emplearon PROMETHEE I y II para evaluar estrategias de gestión del agua. Raju et al. (2000) utilizaron PROMETHEE II, basado en factores económicos, ambientales y sociales, para clasificar estrategias alternativas de planificación del sistema de riego, incluyendo un enfoque de toma de decisiones en grupo. Morais y de Almeida (2007) propusieron un modelo PROMETHEE V, que seleccionó opciones factibles bajo las limitaciones presupuestarias disponibles, para desarrollar una estrategia de gestión de fugas.

En el área de la gestión empresarial y financiera se identifican trabajos de investigación en los aspectos clave de la gestión general, la medición del rendimiento, la gestión de carteras y el análisis de inversiones. Albadvi et al. (2006) aplican PROMETHEE I y II como herramienta de toma de decisiones para seleccionar las acciones de inversión en la Bolsa de Teherán. Kalogeras et al. (2005) utilizaron PROMETHEE II para clasificar a las empresas agroalimentarias de acuerdo con los ratios de rentabilidad, los coeficientes de solvencia y los coeficientes de rendimiento directivo.

El área de la logística y el transporte es otra de las que se encuentra en la literatura de PROMETHEE, abordando problemas relacionados con ubicación, externalización y selección de proveedores en diferentes campos. Así, en el contexto de los problemas de localización,

## 2. Revisión Bibliográfica

Mladineo et al. (1987) presentaron PROMETHEE I y II para clasificar seis ubicaciones alternativas para la construcción de centrales hidroeléctricas a pequeña escala. Wang y Yang (2007) desarrollaron una investigación sobre la externalización de sistemas de información. Este trabajo es, además, un ejemplo de que también PROMETHEE se aplica combinado con otros métodos MCDM, habitualmente con AHP, como se da en este caso. Fernández-Castro y Jiménez (2005) combinaron PROMETHEE II, III y V, para clasificar y seleccionar centros de distribución para una firma en cuatro áreas de Bélgica.

En el área del Manufacturing se encuentran trabajos de investigación relacionados con aspectos de gestión de los sistemas de fabricación y planificación, programación de mantenimiento y planificación de líneas de montaje. Chareonsuk et al. (1997) plantearon un modelo con dos criterios, los costes totales previstos y la fiabilidad del sistema de producción, para determinar los intervalos óptimos de mantenimiento preventivo para un sistema de producción. Roux et al. (2008) combinaron una clasificación lexicográfica y PROMETHEE II para comparar y clasificar nueve estrategias de programación de producción. Pandey y Kengpol (1995) propusieron PROMETHEE I y II para clasificar dispositivos de inspección automatizados para su uso en una célula de fabricación flexible y PROMETHEE V para seleccionarlos bajo diferentes restricciones heterogéneas.

**ELECTRE (*Elimination et choix traduisant la realité*)** fue introducido por Benayoun et al. (1966). Es un método de clasificación y selección que se basa en la estructuración del problema global o conjunto de alternativas en subconjuntos por criterios y a partir de esa estructuración, la comparación por pares (dentro de cada criterio), en base a criterios de superioridad entre los pares, y eliminación de alternativas para simplificar el problema a estudiar. La relación de superación de una alternativa sobre otra puede ser decidida por el responsable de la evaluación incluso aunque la evaluación cuantitativa no sea evidente (Başdar y Alper, 2017; Roy, 1968). Los pasos que sigue el método son: construcción de la matriz de decisión, normalización de la matriz, ponderación de la matriz normalizada, determinación y cálculo de los índices de concordancia y discordancia, comparación por pares (superioridad entre pares en base a los índices de concordancia y discordancia) y cálculo de los índices netos. El método ha sido objeto de varias evoluciones, hasta llegar a las seis actuales: ELECTRE I, II, III, IV, Tri e Is (Chatterjee et al., 2014) y es también utilizado junto con otros métodos MCDM (AHP el más habitual), para la fase de comparación y ranking de alternativas (Gökhan Yücel y Görener, 2016; Soner y Önüt, 2006). Es considerado especialmente conveniente cuando el problema de decisión implica pocos criterios con un gran número de alternativas (Lootsma, 1990).

Las aplicaciones del método se pueden encontrar en muy diferentes ámbitos. En el estudio de Yayla y Karacasu (2011), ELECTRE se utiliza para la evaluación de las inversiones en transporte para el transporte urbano de una ciudad turca. Norese (2006) aplica ELECTRE III para la localización de plantas de tratamiento de residuos. Bari y Leung (2007) lo utilizan para la selección de redes en un entorno de red inalámbrica heterogéneo, seleccionando la

## 2. Revisión Bibliográfica

ubicación óptima a través de la evaluación por ELECTRE de los criterios de ubicación de la empresa. Afshari et al. (2010) aplican una combinación de ELECTRE y AHP para la selección de personal. Con un modelo ELECTRE basado en siete criterios cualitativos evalúan y clasifican cinco candidatos. En una segunda fase, afinan la clasificación con AHP. La misma combinación de métodos es utilizada por Ertugrul y Karakasoglu (2010) para la selección de sistemas informáticos. En este caso, en una aproximación muy común en la literatura, AHP es utilizado para asignar los pesos a los criterios y ELECTRE para llevar a cabo el ranking. Chatterjee et al. (2014) aplican el método para la resolución de un caso muy operativo y concreto, como es la selección de un dispositivo de inspección en una empresa de fabricación. En su trabajo, además hacen una comparativa del comportamiento de las diferentes variantes de ELECTRE.

**TOPSIS (*Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution*)** es un método de decisión multicriterio propuesto inicialmente por Hwang y Yoon (1981). La lógica básica del método propone que la solución óptima es aquella que más se acerca a la solución ideal positiva y más se aleja de la solución ideal negativa. La solución ideal positiva es la que maximiza los criterios de beneficio y minimiza los criterios de costo, mientras que la solución ideal negativa maximiza los criterios de costo y minimiza los criterios de beneficio. TOPSIS hace pleno uso de la información de los atributos y proporciona una clasificación cardinal de las alternativas. El proceso parte de formar la matriz de decisión inicial, en un segundo paso normalizarla y ponderarla, para a continuación determinar las soluciones ideales positivas y negativas y calcular las medidas de separación para cada alternativa respecto a ambas ideales. El proceso finaliza calculando el coeficiente de proximidad relativa. El conjunto de alternativas a evaluar se puede clasificar de acuerdo con el orden descendente de ese coeficiente de cercanía.

La similitud del proceso y la aportación diferenciadora que supone el cálculo de la distancia entre la solución óptima positiva y la óptima desfavorable lleva a que el método sea considerado por algunos autores como la variante más destacada de ELECTRE (Başdar y Alper, 2017; Triantaphyllou, 2000).

Las aplicaciones de TOPSIS son muy extensas y pueden verse en campos tan diversos como la logística y gestión de la cadena de suministro, el diseño, desarrollo y fabricación de sistemas de fabricación, la gestión de negocios y el marketing, la gestión en las áreas de salud, seguridad laboral y medio ambiente, la gestión de recursos humanos, la gestión de recursos energéticos, entre los más relevantes (Behzadian et al., 2012). Como se ha descrito en apartados anteriores, entre este abanico de aplicaciones se encuentran múltiples casos de aplicaciones combinadas con otros métodos, especialmente con AHP y ANP y DEMATEL (Büyükoçkan y İli, 2012; Kuo et al., 2015; Nouri et al., 2015a; Ocampo et al., 2020; Sinrat y Atthirawong, 2014; Tavana et al., 2013).

**DEMATEL (*Decision Making Trial and Evaluation Laboratory*)**, desarrollado por Gabus y Fontela (1972), es un método especialmente útil para analizar las relaciones de causa y efecto

## 2. Revisión Bibliográfica

entre los componentes de un sistema (Si et al., 2018). Permite confirmar la interdependencia entre factores y propone la construcción de un mapa en el que se reflejan las relaciones de relación entre ellos y puede ser utilizado para investigar y resolver problemas complicados y entrelazados. El método convierte las relaciones de interdependencia en un grupo de causas y un grupo de efectos a través de matrices, y además identifica los factores críticos dentro de un sistema de estructura complejo a través de un diagrama de relación de impacto. La base de DEMATEL es, por tanto, la representación gráfica y con ella permite tener una más sencilla visualización de las relaciones casuales dividiendo problemas complejos con interrelaciones y organizándolos en causas y efectos (Li y Tzeng, 2009), completando la evaluación con un mapa de relación de impacto (IRM). Para ello, las fases en que se estructura el método son la configuración de la matriz de influencia directa, la normalización de la matriz de influencia directa, a partir de ésta la obtención de la matriz global de relaciones e interdependencias y el mapa de relación de impacto (Falatoonitoosi et al., 2013).

Debido a sus capacidades, ha recibido una gran atención en las últimas décadas y muchos investigadores lo han aplicado para resolver problemas en sistemas complejos en áreas muy diversas, y también en muchos casos en combinación con otros métodos MCDM, en particular con ANP como se ha referido en el apartado dedicado a este método.

### **2.2.3.2 Otros métodos MCDM**

A continuación se recogen otros métodos que tienen también relevancia en cuanto a su presencia en la literatura, pero en una menor medida que los anteriores.

**VIKOR (*Vlsekriterijumska optimizacija i KOMpromisno Resenje*)**, desarrollado por Opricovic (1998) se centra en la clasificación y la selección de un conjunto de alternativas en presencia de criterios contradictorios. Introduce el índice de ranking multicriterio basado en la medida particular de la cercanía a la solución ideal. Suponiendo que cada alternativa es evaluada de acuerdo con cada función de criterio, el ranking compromiso puede realizarse comparando la medida de la cercanía a la alternativa ideal (Opricovic y Tzeng, 2004). La clasificación por VIKOR se puede realizar con diferentes valores de ponderación de los criterios, analizando el impacto de los pesos de los criterios en la solución de compromiso propuesta. El método determina los intervalos de estabilidad de los pesos y, en caso de que el valor de un peso salga del intervalo de estabilidad, la solución de compromiso obtenida con los pesos iniciales es recalculada. El análisis de los intervalos de estabilidad de peso para un único criterio se realiza para todas las funciones de criterio, con los mismos valores iniciales (dados) de las ponderaciones. VIKOR es una herramienta útil, especialmente en una situación en la que el responsable de la toma de decisiones no sabe expresar su preferencia en la fase de diseño del sistema. La iteración en la solución de compromiso le permite afinar el resultado para que la solución de compromiso proporcione una "utilidad de grupo" máxima. VIKOR es relacionado y comparado con TOPSIS porque ambos utilizan funciones que representan la cercanía a un valor de referencia (Chai et al., 2013). Las aplicaciones del método son muy

## 2. Revisión Bibliográfica

variadas, utilizándose en muchas ocasiones en combinación con los métodos hasta ahora descritos (AHP, TOPSIS, ELECTRE, PROMETHEE). Se pueden encontrar trabajos en áreas tan diversas como la sostenibilidad y energías renovables (Kim y Chung, 2013; Ren et al., 2015), la gestión de la cadena de suministro (Akman, 2015; Alimardani et al., 2013; Rostamzadeh et al., 2015), el turismo (Liu et al., 2012; Tzeng et al., 2002), el marketing (Chiu et al., 2013; Wang y Tzeng, 2012), la construcción (Ebrahimnejad et al., 2012; Mela et al., 2012; Peng, 2015), la fabricación (Parameshwaran et al., 2015; Tzeng y Huang, 2012; Zhu et al., 2015).

**SWARA (*Step-wise weight assessment ratio analysis*)**, desarrollado por Keršulienė et al. (2010) es uno de los métodos de toma de decisión multicriterio más jóvenes. En este método, un experto tiene un papel importante en las evaluaciones y el cálculo de pesos. Cada experto elige la importancia de cada criterio. A continuación, cada experto clasifica todos los criterios. Un experto utiliza su propio conocimiento implícito, información y experiencias. Sobre la base de este método, al criterio más significativo se le asigna rango 1, y al criterio menos significativo se asigna rango último. Este método se considera útil para coordinar y recopilar datos de diferentes expertos. Los autores defienden que la principal ventaja de este método en la toma de decisiones es que en algunos problemas las prioridades ya están predefinidas por políticas, normativas o experiencias previas, con lo que no hay necesidad de realizar una evaluación compleja para clasificar los criterios. En otros métodos como AHP y sus variantes, el modelo se crea sobre la base de criterios, y las evaluaciones afectarán las prioridades y rangos. Por esta propiedad, es habitualmente utilizado en combinación con otros métodos (Zolfani y Saparauskas, 2014).

**DEA (*Data Envelopment Analysis*)**. Desarrollado por Charnes et al. (1994), es un método no paramétrico para evaluar la eficiencia relativa de las unidades de toma de decisiones (DMU) sobre la base de múltiples entradas y salidas. Desde su presentación ha sido muy utilizado en ámbitos de gestión, investigación operacional, ingeniería de sistemas, toma de decisiones. Debido a su elevada aceptación diferentes investigadores han desarrollado modelos adaptados a partir de él (Banker et al., 1984; Charnes et al., 1982; Cooper et al., 2000; Tone, 2001).

Sin embargo, para algunos autores DEA no puede ser considerado estrictamente un método multicriterio sino un método de programación matemático no paramétrico (Chai et al., 2013; Lotfi et al., 2013).

**2.2.3.3 Resumen comparativo**

La tabla 1 recoge de manera resumida las fortalezas y debilidades más destacadas de cada uno de los métodos relatados, según las comparativas realizadas por diferentes autores (Kumar et al., 2017; Siksnylyte et al., 2018; Velasquez y Hester, 2013).

**Tabla 1:** Comparativa de métodos de selección multicriterio

Método	Fortalezas	Debilidades
AHP	Fácil de usar y escalar. Versátil: la estructura jerárquica puede ajustarse fácilmente para adaptarse a diferentes problemas. Requiere poco esfuerzo computacional. Rápido de ejecutar. El más popular, muchas veces aplicado en combinación con otros. Muy utilizado en selección de tecnologías.	El árbol de decisión es puramente jerárquico, es decir, en un único sentido. En los casos en que hay interrelaciones entre niveles puede no representar correctamente el caso. Puede complicarse con discrepancias en el equipo de evaluación.
ANP	Las mismas ventajas de ANP al ser una evolución del mismo, generada por sus creadores. Supera la desventaja de AHP al formular relaciones entre niveles.	La interrelación entre niveles complica la configuración del esquema y su ejecución.
PROMETHEE	Particularmente útil cuando hay alternativas difíciles de conciliar. No requiere la asunción de que los criterios son proporcionales.	No proporciona un método claro para la asignación de pesos. Requiere de tiempo de procesamiento más largo que otros métodos
ELECTRE	Particularmente útil cuando hay alternativas difíciles de conciliar. Su principal ventaja es que tiene en cuenta la incertidumbre y las imprecisiones y vaguedades de los datos	Su proceso y sus resultados pueden ser complejos de explicar en términos sencillos. El método de descarte hace que a veces las fortalezas y debilidades de las alternativas no se visualicen.
TOPSIS	Fácil de usar y programar. Tiene una lógica racional y comprensible, el concepto representado en una forma matemática simple. Consistente y fiable. El número de pasos es el mismo independientemente del número de factores. Uno de los más populares, comúnmente utilizado en combinación con otros.	El método de ponderación es complejo y no siempre claro. Básicamente funciona sobre la base de la distancia euclidiana y por lo tanto no considera ninguna diferencia entre los valores negativos y positivos.
DEMATEL	Analiza las influencias mutuas (tanto los efectos directos como indirectos) entre diferentes factores y comprende las complejas relaciones causa-efecto. Proporciona al equipo de análisis la visualización de las interrelaciones entre los factores a través del mapa de interrelaciones.	Los pesos relativos de los expertos no se tienen en cuenta al agregar juicios personales de expertos en evaluaciones grupales. No puede tener en cuenta el nivel de aspiración de las alternativas ni obtener órdenes de clasificación parciales de alternativas, por ello se usa habitualmente en combinación con otros métodos.
VIKOR	Útil en tomas de decisión en las que el responsable o equipo de expertos no puede expresar su preferencia al principio del proceso, porque se va haciendo una aproximación progresiva a través de propuestas de compromiso.	En comparativas con otros métodos análogos como TOPSIS ha mostrado cierta falta de correlación en los resultados.
SWARA	Muy ágil en problemas en los que las prioridades ya están predefinidas por políticas, normativas o experiencias previas, evitando una evaluación compleja para clasificar los criterios.	En problemas más complejos presenta limitaciones, por lo que en muchos casos se aplica en combinación con otros métodos.
DEA	Es capaz de manejar múltiples entradas y salidas. Permite analizar y cuantificar la eficiencia. Puede descubrir relaciones que pueden estar ocultas con otros métodos	No trabaja correctamente con datos imprecisos; asume que todas las entradas y salidas son conocidas.

Cabe destacar que los autores que han llevado a cabo trabajos de comparación concluyen que las ventajas y desventajas de los métodos, tal como se ha ido indicando en la descripción de



cada uno, se encuentran más relacionadas con el campo y el caso de aplicación que en un estadio global de evaluación de los métodos, no pudiendo marcarse diferencias sustanciales entre ellos.

### **2.2.3.4 El método MIVES (Modelo Integrado de Valor para Evaluaciones de Sostenibilidad)**

En este punto se presenta a modo introductorio el método MIVES, que será descrito con detalle en el capítulo de metodología de investigación, ya que es la herramienta sobre la que se articula el modelo a desarrollar en esta tesis. En este apartado únicamente se introduce el método y se hace referencia a trabajos de aplicación del mismo, de modo análogo al seguido con el resto de métodos MCDM descritos en este capítulo.

MIVES (Viñolas et al., 2009), es uno de los métodos MCDM más jóvenes, desarrollado originalmente para la evaluación de la sostenibilidad en la construcción (Pujadas et al., 2017a) y la evaluación y priorización de alternativas homogéneas (Viñolas et al., 2009) y heterogéneas (Pardo-Bosch y Aguado, 2015; Pujadas et al., 2017a). Su principal contribución reside en que combina la toma de decisiones multicriterio (MCDM) y la teoría de utilidad multiatributo (MAUT), incorporando el concepto de función de valor (Alarcon et al., 2011) y estructurando un árbol de decisión y asignando ponderaciones utilizando AHP. Una de las características más importantes del método MIVES es que el planteamiento de todo el modelo de valoración es anterior a la creación de las alternativas (Viñolas et al., 2009). Los autores defienden que la ventaja de este planteamiento es que la toma de decisión se realiza sin que exista influencia de las valoraciones de las alternativas evitando que se produzca cualquier tipo de subjetividad. Las fases del método MIVES son:

- Delimitación de la decisión: se define quien toma la decisión, se fijan los límites del sistema y se establecen las condiciones de contorno.
- Introducción del árbol de toma de decisión, según el método AHP.
- Asignación de pesos: se asigna la importancia relativa de cada uno de los factores en relación a los restantes pertenecientes a una misma ramificación.
- Creación de las funciones de valor, para obtener valoraciones de 0 a 1 de todos los factores pertenecientes al último nivel del árbol jerárquico.
- Definición de las alternativas: se definen diversas alternativas factibles al problema de toma de decisión planteado. En algunos casos, las alternativas están prefijadas al inicio de la toma de decisión y por ello, no se debe realizar esta fase.
- Valoración de las alternativas: se obtiene el índice de valor para cada una de las alternativas planteadas. Este índice de valor se calcula a partir de las funciones de valor, y los pesos asignados en los sucesivos niveles del árbol jerárquico.
- Realización de un análisis de sensibilidad: se analiza el posible cambio del índice de

## 2. Revisión Bibliográfica

valor de cada una de las alternativas en el caso de variar los pesos o las funciones de valor definidas en las primeras fases. Esta es una fase opcional dentro del método MIVES.

Las aplicaciones del método se circunscriben hasta el momento al sector de la construcción, si bien dentro de él las temáticas abordadas y los casos de aplicación son múltiples: la selección de materiales de construcción (Alberti et al., 2018; de la Fuente et al., 2017; Jato-Espino et al., 2014; Pons y De La Fuente, 2013; Pujadas et al., 2019), la planificación urbana (Diaz-Sarachaga et al., 2017a, 2017b; Hosseini et al., 2018; Pons y Aguado, 2012; Pujadas et al., 2017), el análisis medioambiental y de sostenibilidad asociado a aspectos de la construcción y el urbanismo (Cuadrado et al., 2016; De La Fuente et al., 2016; Pilar De La Cruz et al., 2014; Pons et al., 2016; San-José Lombera y Garrucho Aprea, 2010).

### **2.2.4 Aplicación de Métodos Multicriterio para la Identificación y Selección de Tecnologías**

En este apartado se recogen las aportaciones científicas identificadas en el área de selección de tecnologías, actividades y proyectos de I+D. Conviene aclarar de antemano que, como se irá viendo a lo largo del apartado, se maneja el concepto de “tecnología” y “proyecto” de diferentes maneras. Así, en la mayoría de los casos industriales se refiere a la incorporación de una tecnología concreta o incluso a un tipo de maquinaria, mientras que otros casos asociados al entorno académico y de administraciones públicas se hace referencia a proyectos de I+D. No se ha hecho una diferenciación en este apartado, porque los métodos y herramientas mostrados son válidos para las diferentes casuísticas, y en cada referencia se describe el tipo de situación que se aborda. A continuación, se recogen las principales aportaciones de los diferentes autores, destacando la contribución novedosa y diferenciadora por la que han sido seleccionados en este análisis bibliográfico.

Kleindorfer y Partovi (1990) en su método para la selección de tecnología en empresas de fabricación comienzan con un análisis de la estrategia competitiva, recogiendo las características nucleares de la formulación de la estrategia de la empresa. Esto ayuda a definir la importancia del costo, la calidad, la flexibilidad y la dependencia de cara a la rentabilidad y la viabilidad a largo plazo. Con estas consideraciones generan una estructura jerárquica del potencial de desempeño para una línea de negocio concreta en la empresa. La evaluación de ese desempeño la realizan aplicando el método AHP.

El modelo propuesto por Yap y Souder (1993) combina los aspectos analíticos de las decisiones de selección de tecnología con los impactos que en ellos tienen los aspectos internos de la empresa, tanto de comportamiento como de organización. Para ello, introducen un sistema de filtrado durante el análisis de decisiones.

Khouja (1995) presenta un modelo de selección de tecnología en el que introduce el método *Data Envelopment Analysis* (DEA) para la selección de Tecnologías de Información. Esta tecnología (DEA) es utilizada para la identificación de tecnologías, que luego se seleccionan

## 2. Revisión Bibliográfica

con un proceso de toma de decisión multicriterio.

Sambasivarao y Deshmukh (1997) proponen un sistema de apoyo a la toma de decisiones basado en un enfoque económico, con un análisis multicriterio en el que incluyen el análisis de riesgos para la selección y justificación de las tecnologías de automatización en empresas de Manufacturing. Completan el proceso con la verificación en un estudio de caso.

El modelo de Mohanty y Deshmukh (1998) para la selección de tecnologías de fabricación se basa en un proceso progresivo que se inicia con la definición de objetivos estratégicos, la identificación de tecnologías avanzadas de fabricación, la identificación de atributos clave de esas tecnologías y, finalmente, la evaluación y selección.

Lowe et al. (2000) presentaron una herramienta de selección de tecnología utilizando *Quality Function Deployment* (QFD) para seleccionar una solución muy particular de Manufacturing dentro de la tecnología de *thixoforming*. El propósito del proceso era proporcionar un análisis de coste-beneficio de la tecnología desde una perspectiva de negocio-proceso.

El modelo de selección de tecnología presentado por Ragavan y Punniyamoorthy (2003) considera factores tangibles e intangibles en el proceso de selección de tecnología. Los factores tangibles son el tiempo y el costo, y los factores intangibles se identifican como los administradores y gestores de la tecnología, que son evaluados con el método AHP.

Bayazit (2005) presenta un caso de aplicación de AHP a la selección de un Sistema Flexible de Fabricación. Estructura el árbol jerárquico en cuatro criterios: ventajas, oportunidades, riesgos y desventajas y tiene como particularidad frente a otros trabajos que no selecciona entre diferentes alternativas, sino que la selección es si/no adoptar una determinada tecnología. Además, hace un detallado análisis de sensibilidad del modelo.

Mohanty et al. (2005) presentan uno de los pocos trabajos encontrados sobre la selección de proyectos de I+D. En él defienden las ventajas del método ANP. La ventaja que defienden los autores para su caso reside en que introduce un bucle dinámico de realimentación entre los diferentes criterios y niveles, mientras que el AHP es unidireccional. Con la introducción de este bucle se evita, según los autores, errores debidos a consideraciones entre los diferentes niveles proporcionando una más adecuada información a los analistas. En su trabajo proponen un esquema de cuatro niveles jerárquicos: 1) las diferentes características empresariales; 2) las diferentes fases a través de las cuales pasa el proyecto de I + D; 3) los criterios de decisión; 4) los atributos y subatributos.

Gouvea Da Costa et al. (2006) propusieron un modelo de selección de tecnologías avanzadas de fabricación (en el ámbito de las TICs) que plantea como elemento clave una visión basada en los recursos dedicados a partir de la estrategia de fabricación. Se basa en el concepto de que el posicionamiento competitivo de una empresa depende de sus recursos y capacidades únicas y de las interrelaciones entre ellas.

Shehabuddeen et al. (2006) introducen el concepto de “marco” de selección de la tecnología. Estructuran este marco en cuatro áreas clave y proponen el uso de dos fases de filtrado: un

## 2. Revisión Bibliográfica

primer filtro de requisitos, estructurados además en esenciales y deseables y un segundo filtro de adecuación de la tecnología. La aplicación de estos dos filtros es secuencial, de forma que se va progresivamente reduciendo el número de tecnologías candidatas.

Chang et al. (2007) desarrollaron un modelo de rendimiento de la fabricación de obleas de silicio basado en el método AHP, aplicándolo a la selección de maquinaria. Añaden un gráfico de control para demostrar y verificar la factibilidad y eficacia del algoritmo propuesto.

Çimren et al. (2007) propusieron un método de apoyo a la decisión para la selección de máquinas herramienta con AHP. Consideraron criterios cualitativos de decisión relacionados con las características de la máquina y las combinan con las consideraciones económicas a través del análisis de costos. Completan el trabajo con un caso de estudio.

Jaganathan et al. (2007) proponen un enfoque integrado basado en fuzzy-AHP para la evaluación y selección de nuevas tecnologías de fabricación. Los aspectos clave de su trabajo están relacionados con la toma de decisión en grupo y con el aseguramiento de la fiabilidad de la aproximación fuzzy. Soportan el método en ejemplos numéricos para demostrar el enfoque desarrollado.

Almannai et al. (2008) presentan un enfoque diferente para apoyar una gestión integrada en la adopción de la tecnología con la organización y las personas. El enfoque desarrollado integra la técnica *Quality Function Deployment* (QFD) con la técnica de Análisis de Fallos y Efectos (AMFE): QFD en su capacidad para identificar la alternativa de automatización de fabricación más adecuada y AMFE en su capacidad de identificar el riesgo asociado con esa opción que se abordará en las fases de diseño e implementación del sistema de fabricación.

Eilat et al. (2008) proponen un modelo analítico dirigido a la evaluación de proyectos de I + D en diferentes etapas de su ciclo de vida. Este es uno de los aspectos diferenciadores del trabajo, que permite evaluar los proyectos tanto en su adopción e inicio, como en su desarrollo y ejecución y también en la fase final de cierre. El método que proponen para ello es una combinación de dos métodos: *Balanced Scorecard* (BSC) (Kaplan y Norton, 1996) y *Data Envelopment Analysis* (DEA). Los autores concluyen que la aplicación conjunta de los métodos presenta ventajas frente a cada uno de ellos. Con respecto a DEA, el modelo generaliza el tratamiento estándar de los datos dividiendo las entradas y salidas en subconjuntos y añadiendo restricciones (requisitos de equilibrio). Con respecto a BSC el modelo propone un nuevo enfoque para evaluar el desempeño mediante la aplicación de un análisis cuantitativo que combina las medidas dentro de cada criterio en un único valor.

Gindy et al. (2008) desarrollan una variante de *Roadmapping*, que denominan *Strategic Technology Alignment Roadmapping* (STAR), estructurada en tres fases: creación del marco, recolección de datos tecnológicos y creación y evaluación de proyectos. Esta metodología incluye AHP para el ranking y comparación de alternativas. La novedad de la metodología y su potencial lo argumentan los autores sobre el encaje (*matching*) entre el *roadmapping* y las características de las tecnologías en él incluidas con la estrategia y las características de la

## 2. Revisión Bibliográfica

empresa que lo desarrolla, aportando una visión integral y cuantificada.

Huang et al. (2008) presentan un modelo clásico de selección multicriterio, basado en AHP, con la particularidad de que es uno de los pocos trabajos orientados a la selección de proyecto de I+D, en este caso por parte de la Administración Pública. Es precisamente esta novedad la que destacan los autores frente a la mayoría de trabajos orientados a la selección de tecnologías y proyectos por parte de empresas privadas.

Wang et al. (2008) presentan un modelo para la evaluación del carácter innovador de una empresa. Los autores defienden en su trabajo que la medida en que la innovación tecnológica tendrá éxito depende de la gestión organizativa, las decisiones de innovación organizacional y la capacidad de I+D de la empresa. Para llevar a cabo este análisis de la capacidad innovadora de la empresa plantean un modelo *Fuzzy* multicriterio (similar a AHP), definiendo como criterios clave las capacidades de I+D, las capacidades de marketing, las capacidades de producción, las capacidades financieras y las capacidades de decisión.

García-Valderrama et al. (2009) plantean también un modelo aplicado a la evaluación de la eficiencia de las actividades de I+D. Argumentan que son pocos los trabajos que se centran en este análisis de eficiencia y concluyen que su estudio define un marco adecuado para analizar el éxito de las empresas, en lo que se refiere a la consecución de sus objetivos financieros, comerciales y organizativos, desde el punto de partida de la apuesta realizada en el ámbito de la I+D.

Wang y Chin (2009) proponen el uso de DEA con doble frontera para la selección de tecnologías avanzadas de fabricación: tienen en cuenta las mejores y las peores características de eficiencia de cada tecnología candidata. Argumentan con ello que en comparación con el DEA tradicional, el enfoque DEA con doble frontera puede resolver la selección de manera más sencilla, sin necesidad de imponer ninguna restricción de peso ni de calcular la matriz de eficiencia cruzada. Soportan su modelo en cuatro ejemplos.

Yang et al. (2009) proponen un proceso integrado que permite construir un modelo de medición del comportamiento de un sistema en un entorno de fabricación. Para la construcción del modelo se utilizan criterios de la literatura y un cuestionario de expertos. Y utilizan AHP y ANP para determinar los pesos de cada criterio.

Jain et al (2010) utilizan la metodología AHP para la evaluación del carácter innovador de una empresa. El modelo caracteriza el nivel innovador de una empresa en base a seis criterios (capacidades de I+D, capacidades de gestión de la innovación, capacidades de marketing, capacidades de producción, capacidades financieras, cultura y organización) y los autores utilizan esta caracterización para comparar diferentes empresas.

Lee et al. (2010) desarrollan un modelo combinado para la adquisición de equipamiento de alto valor tecnológico asegurando la correcta transferencia de la tecnología clave asociada por parte del proveedor. Para ello tratan de establecer un marco integral para evaluar y seleccionar nuevos equipos con transferencia de tecnología crítica. A partir de una primera selección de

## 2. Revisión Bibliográfica

factores críticos según la revisión bibliográfica se aplica un método *fuzzy* Delphi para la selección final de esos factores. Posteriormente aplican *Interpretative Structural Modelling* (ISM), método desarrollado por Warfield (1974) para determinar la interrelación entre los factores críticos. Se construye un modelo *Fuzzy ANP* para evaluar el rendimiento de la transferencia de tecnología. El carácter más novedoso del trabajo se encuentra en la introducción de los factores de transferencia y de comportamiento de proveedor y receptor, además de las propias características tecnológicas.

Rhee et al. (2010) presentan un trabajo que se desmarca de las técnicas de selección multicriterio pero es interesante para la caracterización de los actores que intervienen en esa selección, en concreto las empresas. Desarrollan un análisis, con un modelo de relación incluido, entre características clave de una empresa innovadora (orientación al aprendizaje, orientación al mercado, orientación al emprendimiento), marcando los pesos relativos de cada una y relacionándolas con los resultados y el carácter innovador de la empresa.

Shen et al. (2010) desarrollan una aproximación clásica con la combinación de Delphi y AHP. El aspecto diferenciador que introducen en su trabajo reside en que en paralelo con el modelo clásico plantean un modelo de análisis de patentes a partir del método *Patent Co-Citation Approach* (PCA) (Lai y Wu, 2005), que se combina en la fase final con el modelo AHP para construir el ranking de tecnologías.

Antucheviciene et al. (2011) comparan el comportamiento de tres diferentes métodos de toma de decisión multicriterio habitualmente utilizados en el sector de la construcción: *Complex Proportional Assessment* (COPRAS) (Zavadskas y Kaklauskas, 1996), TOPSIS y VIKOR. En sus conclusiones destacan que los dos primeros tienen comportamiento y resultados muy similares, mientras que el tercero presenta algunas incongruencias en determinados criterios de consistencia.

Kreng et al. (2011) desarrollaron un modelo ampliado de AHP para la selección de unas tecnologías concretas de fabricación, que revisa la manera de obtener los factores de las comparaciones por parejas para tener en cuenta tanto los criterios tangibles como los intangibles. Se aplica un caso de estudio en Taiwan para completar el trabajo, verificando el modelo.

Ordoobadi (2012) presenta un modelo de evaluación de tecnologías de fabricación avanzadas para empresas basado en la metodología ANP. El autor centra su trabajo en las mejoras que el método ANP presenta frente a AHP, en concreto argumenta, en la línea de otros autores antes referenciados, que una característica única de la ANP es la consideración de relaciones interdependientes y retroalimentación entre los elementos del sistema.

Paramasivam et al. (2011) comparan tres métodos de toma de decisiones multiatributo para la selección de una máquina herramienta fresadora: el enfoque digraph y matricial, el método AHP y el ANP.

Büyükköçkan y Ili (2012) desarrollan un modelo combinado entre tres técnicas: *fuzzy* DEMATEL,

## 2. Revisión Bibliográfica

fuzzy ANP y fuzzy TOPSIS. Combina de forma interrelacionada DEMATEL para generar la matriz de relaciones, ANP para hacer las comparativas entre pares y establecer los pesos y TOPSIS para hacer la evaluación de las alternativas. En las tres fases participa el panel de expertos y las tres fases están interrelacionadas. Aplican este método híbrido a la selección de proveedores. Concluyen que el enfoque combinado de ANP y DEMATEL proporciona un análisis más preciso integrando las relaciones interdependientes dentro y entre un conjunto de criterios. Finalmente, el método TOPSIS ayuda a elegir la alternativa para la solución ideal de este problema.

Taha y Rostam (2012) presentan un sistema de apoyo a la decisión para la selección de máquinas herramienta en células de fabricación flexibles combinando fuzzy AHP y redes neuronales. Este último es el aspecto más diferenciador de este trabajo. La red neuronal artificial (ANN) se utiliza para verificar los resultados del AHP y para predecir la clasificación de las alternativas. Como caso de uso se presenta un ejemplo numérico para seleccionar la máquina CNC más adecuada a partir de los datos recogidos de un cuestionario.

Cho y Lee (2013) presentan la aplicación de dos métodos clásicos, Delphi y fuzzy AHP para la toma de decisión sobre la comercialización de productos basados en nuevas tecnologías. La aproximación es convencional, pero presentan una interesante estructura jerárquica teniendo en cuenta tanto aspectos tecnológicos, como organizativos, de mercado y negocio.

Evans et al. (2013) proporcionan un sistema de apoyo a la toma de decisiones basado en la experiencia que utiliza datos de decisiones históricas para la selección y adopción de tecnologías de fabricación. Aplican un enfoque de decisión fuzzy para objetivar la selección. El modelo desarrollado utiliza la relación de información de las variables clave de decisión de la tecnología, los requisitos de un caso de tecnología implementado y el resultado de éxito de un proyecto para apoyar la toma de decisión.

Ma et al. (2013) desarrollan un trabajo de aplicación de los métodos fuzzy AHP y Delphi a la selección de tecnologías industriales de energía solar, aplicados al caso de Taiwan. El aspecto diferenciador del trabajo reside en que se centra en analizar con profundidad las características de la tecnología, bajo los criterios de innovación, relevancia, derechos de propiedad Intelectual, potencial de extensión, sostenibilidad, beneficios y riesgos.

Ordoobadi (2013) introduce en su estudio sobre la selección de tecnologías avanzadas de fabricación la importancia de caracterizar correctamente los impactos positivos y negativos de los factores críticos. La metodología que utiliza es AHP, combinada con la función de pérdida de calidad de Taguchi. Esta combinación es novedosa también en la bibliografía. El autor defiende dos aspectos destacables en su trabajo: en primer lugar, proporciona una lista completa de los riesgos y beneficios asociados con la selección y adopción de una tecnología. Además, proporciona un enfoque sistemático para cuantificar los riesgos y beneficios intangibles.

Sliogeriene et al. (2013) plantean un trabajo en el que combinan los métodos AHP y *Additive*

## 2. Revisión Bibliográfica

*Ratio Assessment* (ARAS) (Zavadskas et al., 2010). Estructuran su modelo en dos niveles: un primer nivel que engloba los factores externos que abarcan criterios institucionales (políticos, tecnológicos, económicos, medioambientales y sociales), en el que aplican AHP. Y las alternativas tecnológicas a seleccionar se evalúan en el segundo nivel, aplicando ARAS. Consideran que ARAS es el método que mejor objetiviza el ranking de las alternativas.

Camisón y Villar-López (2014) introducen un concepto a tener en cuenta en el análisis de la innovación tecnológica, como es la influencia de la innovación organizativa como elemento facilitador. Defienden que habitualmente no se lleva a cabo este análisis integral y concluyen que su trabajo, validado sobre una muestra de 144 empresas españolas, indica que efectivamente la innovación organizativa es un facilitador clave para promover la innovación tecnológica.

Cevik Onar et al. (2014) presentan un modelo para la toma de decisiones estratégicas que se basa en el uso conjunto de AHP y TOPSIS. Los pesos de los factores se determinan mediante AHP y luego la mejor estrategia es seleccionada por TOPSIS usando los pesos determinados. Se completa con el caso de uso de una multinacional de electrónica de consumo, en una toma de decisión sobre inversión en una nueva área, que incluye la decisión sobre la posible adquisición o partenariado con otra empresa y los factores asociados a la gobernanza conjunta.

Meesapawong et al. (2014) plantean un método para la orientación de la innovación en Organismos Públicos de I+D, especialmente enfocado a países en desarrollo para una correcta elección de la estrategia de investigación. La metodología que aplican es convencional, combinando Delphi y AHP. Son interesantes los factores que utilizan, muy asociados a decisiones estratégicas, como la misión, la estrategia de Investigación, la colaboración tecnológica y la gestión de la tecnología.

Hashemkhani Zolfani y Bahrami (2014) desarrollan un modelo combinado en el que aplican dos métodos multicriterio, SWARA, para evaluar y ponderar los criterios y COPRAS para evaluar y clasificar las alternativas. Aplican el método a la selección de oportunidades de inversión o potenciación desde la Administración Pública (Iraní) en empresas tecnológicas de cuatro diferentes sectores punteros. Para ello, crean un marco en el que incluyen factores heterogéneos: políticos, sociales, medioambientales, tecnológicos, económicos, de sostenibilidad.

Farooq y O'Brien (2015) actualizan su trabajo de 2010 (Farooq y O'Brien, 2010) introduciendo en el modelo de decisión dos factores diferenciadores: el análisis del riesgo en la selección de tecnología de fabricación y la visión más global de la empresa, teniendo en cuenta a su cadena de suministro. Como modelo de selección utilizan AHP y Strategic Assessment Model (SAM) (Tavana y Banerjee, 1995).

Cuadrado et al. (2016) desarrollan en su trabajo una metodología para la evaluación de soluciones sostenibles para edificaciones industriales. Para ello utilizan en método MIVES con



## 2. Revisión Bibliográfica

el objetivo principal de que la metodología resultado pueda ser aplicada tanto a la evaluación de futuras construcciones como de edificios existentes. Para completar el estudio lo aplican a tres casos prácticos.

Pons et al. (2016) hacen un análisis comparativo de MIVES con otros métodos multicriterio en aplicaciones de ingeniería civil y arquitectura y apoyan la aplicabilidad de MIVES con dos casos de aplicación, uno de ellos el análisis de las tecnologías utilizadas en la construcción de módulos prefabricados para escuelas.

Pujadas et al. (2017) aplican el método MIVES para la evaluación del impacto en la sostenibilidad (económica, ambiental y social) de proyectos de inversión pública. El trabajo se desarrolla a través de un marco de decisión, construido con los tres requisitos antes mencionados, cinco criterios y ocho indicadores. Se completa con un caso de estudio en la ciudad de Barcelona, concluyendo que el método MIVES proporciona evaluaciones precisas, coherentes y repetibles.

Anand y Vinodh (2018) aplican fuzzy ANP y TOPSIS para hacer una selección de tecnologías de fabricación aditiva. Los criterios que utilizan son puramente técnicos, como material, precisión, productividad. Consideran la inclusión de otros criterios como una mejora a introducir en trabajos futuros.

Lima et al. (2018) introducen como aspecto innovador el uso de los métodos MCDM como herramienta de gestión para buscar el consenso en las reuniones para la toma de decisiones en empresas del sector de las TICs. Defienden el uso de estas herramientas para introducir racionalidad y objetividad a decisiones con una importante carga de incertidumbre y riesgo. El método utilizado está basado en AHP.

Camci et al. (2018) plantean un modelo basado en fuzzy AHP para la selección de componentes de Controles numéricos en PYMEs del sector de la maquinaria para madera. La novedad de la investigación está precisamente en la utilidad y aplicabilidad de la aplicación de métodos avanzados de toma de decisión en un sector de bajo nivel tecnológico.

Rehman et al. (2019) proponen el uso de herramientas MCDM en un entorno especialmente dinámico y cargado de incertidumbres como es el de las células de fabricación flexibles y reconfigurables. Aplicación una combinación de métodos fuzzyAHP-PROMETHEE y fuzzAHP-VIKOR para evaluar la idoneidad de cada configuración en función de las medidas de rendimiento identificadas. Los autores concluyen que el uso de los métodos MCDM es clave para el éxito de la decisión bajo criterios de sostenibilidad.

Mouliprasanth y Hariharan (2020) aplican un modelo basado en TOPSIS en un escenario totalmente diferente al habitual: el análisis de parámetros experimentales de un proceso de mecanizado (el micromecanizado electroquímico). Utilizan el método, en combinación con un diseño de experimentos, para seleccionar los parámetros de trabajo óptimos.

En la tabla 2 se resumen las aportaciones que se consideran más relevantes de cara al marco de investigación de la tesis:

## 2. Revisión Bibliográfica

**Tabla 2:** Resumen de principales aportaciones de aplicación de métodos MCDM

Autor	Aportación
Saaty (1996, 1980)	Desarrollo del método AHP, el más ampliamente utilizado y adaptado para dar forma a otros métodos. Desarrollo del método ANP, como variante del AHP, introduciendo una relación entre niveles, no puramente jerárquica
Kleindorfer y Partovi (1990)	Introducción de conceptos de estrategia de la empresa sobre metodología clásica AHP.
Bayazit (2005)	Sobre una aplicación de AHP presenta dos aportaciones principales: estructura el árbol en base a factores de riesgo y beneficio y, por otra parte, es uno de los pocos trabajos orientados a la decisión sobre una única tecnología, no a comparar varias
Mohanty et al.(2005)	Es uno de los pocos trabajos relacionados con la selección de actividades de I+D. partiendo desde la orientación estratégica.
Huang et al. (2008)	Modelo clásico basado en AHP, con la particularidad de que es uno de los pocos trabajos orientados a la selección de proyecto de I+D, en este caso por parte de la Administración Pública.
Shehabuddeen et al. (2006)	Introducen el concepto de "framework" para la caracterización y selección y plantean un modelo progresivo con dos fases de filtrado.
Eilat et al. (2008)	Modelo basado en DEA y BSC que tiene como novedad su aplicabilidad en diferentes fases del ciclo de vida de la tecnología.
Gindy et al. (2008)	Desarrollan una nueva metodología: Strategic Technology Alignment Roadmapping (STAR), es una variante de la tecnología roadmapping que permite hacer un mejor encaje entre las tecnologías y la estrategia y capacidades. Incluyen un modelo AHP.
García-Valderrama et al. (2009)	Modelo combinado de BSC y DEA, con la particularidad de aplicarlo a la evaluación de la eficiencia de las actividades de I+D.
Antucheviciene et al. (2011)	Hacen un estudio comparativo entre COPRAS, TOPSIS y VIKOR.
Büyükoçkan y İfi (2012)	Modelo combinado entre fuzzy DEMATEL, fuzzy ANP y fuzzy TOPSIS, que combina de forma interrelacionada DEMATEL para generar la matriz de relaciones, ANP para hacer las comparativas entre pares y establecer los pesos y TOPSIS para hacer la evaluación de las alternativas, con un panel de expertos en las tres fases.
Cho y Lee (2013)	Aplicación de dos métodos clásicos, Delphi y fuzzy AHP para la toma de decisión sobre la comercialización de productos basados en nuevas tecnologías. A destacar la estructura jerárquica que tiene en cuenta tanto aspectos tecnológicos, como organizativos, de mercado y negocio.
Ma et al. (2013)	Aplicación de los métodos fuzzy AHP y Delphi a la selección de tecnologías industriales de energía solar, aplicados al caso de Taiwan. El aspecto diferenciador del trabajo reside la profundidad y detalle de la caracterización de las tecnologías.
Ordoobadi (2013)	Propone un caso de combinación de AHP combinado con la función de pérdida de calidad de Taguchi. Esta combinación es novedosa y además el trabajo proporciona un enfoque sistemático para cuantificar con detalle los riesgos y beneficios tangibles e intangibles.
Meesapawong et al. (2014)	Método combinando Delphi y AHP para la orientación de la innovación en Organismos Públicos de I+D, especialmente enfocado a países en desarrollo. Son interesantes los factores que utiliza, muy asociados a decisiones estratégicas, como la misión, la estrategia de Investigación, la colaboración tecnológica y la gestión de la tecnología.
Pons et al. (2016)	Uno de los trabajos recogidos con el método MIVES, comparándolo con otros métodos multicriterio en aplicaciones de ingeniería civil y arquitectura y apoyan la aplicabilidad de MIVES con dos casos de aplicación, uno de ellos el análisis de las tecnologías utilizadas en la construcción de módulos prefabricados para escuelas.

## **2.3 Modelos de relación y colaboración entre agentes tecnológicos y empresas**

Las actividades de colaboración entre agentes científico-tecnológicos e industria han aumentado considerablemente durante las últimas décadas. Las razones para esta evolución han sido ampliamente estudiadas e incluyen motivaciones como la creciente velocidad de evolución de la tecnología, los cambios en las características de la gestión y estrategia industrial, hacia un mayor peso de la innovación, la tecnología y el conocimiento, y las políticas que afectan a los agentes tecnológicos, en especial las universidades, y la disponibilidad de mecanismos de financiación (Chakrabarti y Santoro, 2004; D'Este y Patel, 2007; Grimaldi et al., 2011). La colaboración entre la ciencia y la industria se enfrenta a retos significativos (Bruneel et al., 2010) y a menudo se configura a medida del caso (Perkmann y Salter, 2012). Este interés creciente en establecer estrategias, métodos, mecanismos y métricas alrededor de la colaboración agentes científico-tecnológicos e industria da lugar a numerosos trabajos de investigación. Si bien, como ocurre en el caso de otros aspectos relacionados con la investigación, la mayoría de los trabajos se centran en la relación universidad-empresa, y se encuentran en un número sensiblemente menor los que hacen referencia a centros tecnológicos o a agentes científico-tecnológicos (RTOs) en genérico. Es por ello que en los siguientes apartados mayoritariamente se hará referencia a la universidad y su colaboración con la empresa.

Sin embargo, como se podrá verificar en los próximos apartados, desde el punto de vista de las motivaciones, de los factores clave de éxito e incluso de los modelos de colaboración, salvo aspectos puramente ligados a la actividad académica, existe una casi total analogía entre centros de investigación y universidades en su posición y acercamiento a la empresa y la colaboración con ella (EARTO, s. f.; Giannopoulou, 2016). En el caso de los centros tecnológicos, por su posición intermedia en la cadena del conocimiento, deben orientar su estrategia hacia una colaboración bidireccional, con empresas y universidades, y deben asumir un papel de tracción de esa colaboración (Albors et al., 2014). Por tanto, a efectos de los aspectos descritos en los siguientes apartados el término “universidad” puede ser asimilado, salvo las excepciones citadas, al término “centro tecnológico”.

### **2.3.1 Motivaciones para la colaboración**

El incremento del nivel de colaboración entre universidades y empresas se ha atribuido a una combinación de motivaciones tanto en la industria como en las universidades (Giuliani y Arza, 2009; Meyer-Krahmer y Schmoch, 1998a). Para la industria, las motivaciones han incluido la creciente rapidez con la que se producen los cambios tecnológicos, la reducción en los plazos de los ciclos de vida del producto y una intensa y creciente competencia global que han transformado radicalmente el entorno competitivo actual para la mayoría de las empresas (Bettis y Hitt, 1995; Pinheiro et al., 2015; Wright et al., 2008).

## 2. Revisión Bibliográfica

Con respecto a las universidades, las motivaciones han incluido el crecimiento de nuevos conocimientos, el desafío de abordar incrementos en los costes de la investigación y la complicación financiera asociada, que inducen a las universidades a buscar relaciones con empresas que les permitan mantenerse a la vanguardia en todas las áreas temáticas y ayuden a una mayor estabilidad económica (Hagen, 2002). Además, existe una creciente presión social sobre las universidades para que sean vistas como motores para el crecimiento económico, además de su misión de educadoras, y generadoras de conocimiento y capital humano formado para la sociedad (Blumenthal, 2003; Philbin, 2008a). Estas presiones para ambas partes han llevado a un estímulo cada vez mayor para el desarrollo de marcos de colaboración entre empresas y universidades, que tienen también el objetivo de mejorar la innovación y la competitividad económica a niveles institucionales (regiones, países y sectores) a través del intercambio de conocimientos entre el dominio académico y de investigación y el dominio industrial y comercial (Perkmann et al., 2013a). Además, esta colaboración ha sido ampliamente percibida como una herramienta para mejorar la capacidad organizacional en innovación abierta, donde una organización emplea redes externas para desarrollar innovación y conocimiento (Dess y Shaw, 2001), como una opción complementaria a la I + D interna tradicional.

Este contexto global de motivación se ha desarrollado de manera más estructurada por numerosos autores. En general, las motivaciones para la colaboración empresa-universidad se alinean con los seis factores clave de la intercooperación entre dos entidades identificados por Oliver (1990): necesidad, asimetría, reciprocidad, eficiencia, estabilidad y prestigio. Los siguientes dos apartados, relativos a las motivaciones para la universidad y la empresa, respectivamente, se han estructurado siguiendo estos factores. Cabe señalar, que entre las motivaciones de la universidad no se incluye la asimetría, dando a entender que las universidades no buscan en sus relaciones con la industria poder ejercer poder o control sobre la industria o sus recursos (Ankrah y AL-Tabbaa, 2015; D'Este y Perkmann, 2011).

### **2.3.1.1 Motivaciones de la universidad**

*Necesidad:* En un contexto de creciente competencia internacional y rápido cambio tecnológico, los gobiernos están alentando activamente las colaboraciones entre las universidades y la industria como un medio para mejorar la eficiencia de la innovación y, por lo tanto, mejorar la creación de riqueza (Barnes et al., 2002; Rybnicek y Königsgruber, 2019). De acuerdo con Hall et al. (2001) y López-Martínez et al. (1994), el establecimiento y sistematización de relaciones entre la universidad y la industria se está viendo como fundamental por parte de las administraciones públicas en la formulación de políticas de investigación y programas de ayuda, con el objetivo de garantizar que la investigación se transfiera a la industria de manera rápida y exitosa para contribuir al crecimiento y el bienestar de la economía y la sociedad. Por lo tanto, las universidades están volviendo cada vez más su atención a fomentar la colaboración con la empresa, convirtiéndola en una estratégica institucional (Perkmann et al., 2011a).

## 2. Revisión Bibliográfica

*Reciprocidad:* Las universidades ofrecen un amplio acceso a experiencia en investigación e infraestructura de investigación, mientras que la industria ofrece un amplio acceso a experiencia en desarrollo y comercialización de productos, conocimiento del mercado (Sherwood et al., 2004) y oportunidades de empleo para titulados universitarios (Demirović et al., 2018; Lee y Win, 2004; Santoro y Betts, 2002). Las universidades encuentran en estos aspectos motivaciones para construir relaciones con la industria para aprovechar estas fortalezas para beneficio mutuo.

*Eficiencia:* Si bien las ayudas públicas promueven iniciativas de colaboración (Harman y Sherwell, 2002), la complejidad creciente de los programas de financiación pública para las universidades ha proporcionado un fuerte incentivo para que busquen fuentes alternativas de generación de ingreso a través de mecanismos como la explotación de los derechos de propiedad intelectual o la concesión de licencias de patentes, con el fin de reducir su dependencia de la cartera pública (Logar et al., 2001). Blumenthal (2003) y Santoro y Gopalakrishnan (2001) argumentan que la financiación de la industria generalmente implica menos carga burocrática que la financiación pública y, con ello, una mayor agilidad. Otros investigadores como Siegel et al. (2004) hacen referencia a incentivos individuales para investigadores de universidad asociados al establecimiento de relaciones con la industria.

*Estabilidad:* En las investigaciones sobre colaboración, en términos generales, se muestra la relación interorganizacional como una estrategia que se tiende a adoptar cuando el entorno se vuelve complejo, inestable e impredecible (Boddy et al., 2000; Gray y Wood, 1991). Según Oliver (1990), las organizaciones adoptan estrategias de colaboración para responder a la incertidumbre global, buscando previsibilidad y confiabilidad. En el caso de las universidades, la globalización del conocimiento, la transición a una economía basada en el conocimiento y el crecimiento de los nuevos conocimientos ha ejercido una enorme presión sobre las universidades individualmente, lo que motiva a las universidades a establecer alianzas con la industria para mantenerse a la vanguardia en todas las áreas temáticas. De acuerdo con Cyert y Goodman (1997), los investigadores de las universidades ven en estos vínculos un terreno óptimo para desarrollar y probar teorías, perfeccionar sus habilidades, y también capacitar y transferir a sus estudiantes. Meyer-Krahmer y Schmoch (1998) y Santoro y Chakrabarti (2001) también han postulado que las universidades colaboran con la industria para exponer a investigadores y estudiantes a entornos industriales, acercarlos los conocimientos más actualizados de la investigación industrial, y problemas prácticos. Todo esto contribuye a la orientación de la investigación científica, mejora la calidad de la enseñanza y la capacitación y curriculum de los estudiantes (Santoro y Gopalakrishnan, 2000).

*Prestigio:* Otra motivación para que las universidades entablen colaboraciones con la industria es un deseo intrínseco de mejorar su prestigio y posicionamiento (Mora-Valentín, 2000). También existe una creciente tendencia de las universidades para demostrar un mayor impacto social y económico general para la sociedad. Esta motivación lleva a las universidades a desarrollar formas de cooperación con la industria a través del intercambio o difusión de

## 2. Revisión Bibliográfica

conocimiento y tecnología (Siegel et al., 2003), para permitirles contribuir al desarrollo económico (Blumenthal, 2003; Hagen, 2002). Siegel et al. (2004) también hacen referencia al prestigio y posicionamiento personal de los investigadores de las universidades dentro de la comunidad científica alcanzable a partir de publicaciones conjuntas, presentaciones en conferencias y contratos de investigación.

### **2.3.1.2 Motivaciones de las empresas**

*Necesidad:* Los rápidos cambios globales en el entorno competitivo y tecnológico han llevado a las administraciones a proponer medidas e instrumentos para apoyar el acercamiento de las empresas al tejido investigador, defendiendo el papel que las universidades pueden jugar en la regeneración económica (Mora-Valentín, 2000; Perkmann et al., 2013) si difunden su conocimiento y experiencia a través de colaboraciones con la industria. Para fomentar esta colaboración, muchos de los programas de la administración pública exigen que la industria colabore con agentes de investigación (Caloghirou et al., 2001; Howells y Nedeva, 2003).

*Asimetría:* Una motivación para que la industria formalice acuerdos de colaboración con universidades es la búsqueda de la comercialización de tecnologías transferidas desde las universidades para obtener beneficios económicos (Siegel et al., 2003). Para poder hacerlo, muchas empresas buscan derechos exclusivos sobre las tecnologías a explotar. Para ello, buscan mantener cierto control sobre la dirección de la investigación universitaria (Newberg y Dunn, 2002), así como el control de la propiedad y explotación de las tecnologías.

*Reciprocidad.* Poder disponer de investigadores jóvenes cualificados en las tecnologías de interés, a través de mecanismos como prácticas y proyectos fin de master es otro de los factores que animan a las empresas a establecer colaboraciones estables (Ankrah et al., 2013; Siegel et al., 2003). Las empresas buscan en sus acuerdos de colaboración que se incluya en la investigación a los mejores estudiantes (Feller et al., 2002). Adicionalmente, los investigadores principales también pueden ser contratados bajo los parámetros de la normativa que rige a las universidades (Perkmann et al., 2011a).

*Eficiencia:* Las empresas se asocian con universidades debido a la posibilidad de beneficiarse de resultados de la actividad de investigación, resultados innovadores, ahorro de costos, especialmente aquellos relacionados con la creación y explotación del conocimiento (George et al., 2002), y con ello, alcanzar una posición de ventaja competitiva y mejorar su rendimiento empresarial (Grant, 1996). Otra motivación es la estimulación desde las administraciones públicas de la I + D mediante el uso de instrumentos financieros orientados a ella, así como la creación de un entorno legal que apoye la I + D (Barnes et al., 2002). Además, el desarrollo del capital humano, incluida la educación profesional continua (Santoro y Chakrabarti, 1999), el acceso a tecnologías de vanguardia con carácter multidisciplinar y el acceso a equipamiento e instalaciones singulares de investigación también son motivantes para la industria, ya que ayudan a mitigar el impacto de los cada vez más cortos ciclos de vida del producto y, por lo tanto, mejorar la ventaja competitiva (Bonaccorsi y Piccaluga, 1994). A través de la

## 2. Revisión Bibliográfica

colaboración, la empresa puede acceder a una fuente de nuevas tecnologías competitivas que hacen que la distancia entre la conceptualización y la producción se acorte (Frølund et al., 2018; Santoro y Gopalakrishnan, 2001). Esto puede también ayudar a reducir los costes de desarrollo de producto, ya que los acuerdos pueden involucrar actividades como el desarrollo y la creación de prototipos.

*Estabilidad:* Al igual que las universidades, el cambio a la economía basada en el conocimiento se reconoce como un factor motivador para que la industria establezca relaciones con universidades (Santoro y Betts, 2002). Un número cada vez mayor de estudios concluye que las colaboraciones estables son una excelente manera de crear y estimular empresas de base tecnológica, en particular PYMEs para el crecimiento empresarial (Klimczak et al., 2017; Klofsten y Jones-Evans, 1996). La falta de I + D interna por parte de la industria también se cita como un importante motivador para la colaboración de la industria con las universidades (López-Martínez et al., 1994). Según Schartinger et al. (2002) incluso para las empresas con capacidades de I + D, se valora la colaboración, ya que reduce el riesgo y permite multiplicar los recursos, como el capital humano y el equipamiento. Además, el acceso a redes de investigación que involucran a otras universidades y empresas, así como el potencial de colaboraciones más complejas en forma de consorcios que involucran a múltiples empresas y universidades son motivaciones para que la industria entre en colaboración con universidades (George et al., 2002).

*Prestigio:* Siegel et al. (2003) señalan que las empresas a menudo pueden mejorar su imagen y reputación al asociarse con instituciones académicas y de investigación relevantes. Las relaciones con organizaciones establecidas y acreditadas, como las principales universidades de investigación, podrían mejorar el prestigio y posicionamiento de una empresa ante competidores y clientes (Hong y Su, 2013; Mian, 1997).

### **2.3.2 Factores clave de la colaboración**

Los trabajos de investigación abordan diferentes áreas en las que se fijan los factores clave, como la transferencia de tecnología y conocimiento, la monetización de los servicios, las medidas e indicadores o las características de las entidades involucradas en la colaboración y su influencia en la relación. Como afirman Perkmann et al. (2011), para que las alianzas universidad-industria sean productivas, deben estructurarse y gestionarse adecuadamente, y un desafío clave es evaluarlas y establecer los mecanismos para llevar a cabo esa evaluación. Teixeira et al. (2012) también identificaron la medición de la colaboración como un tema de investigación. La colaboración entre la universidad y la industria puede tener lugar de muchas formas, lo que requiere diferentes niveles de formalización y organización (Thune, 2011). D'Este y Patel (2007) reconocen cinco tipos: reuniones y conferencias, consultoría e investigación por contrato, creación de instalaciones físicas, capacitación e investigación conjunta. Referencian también que los factores motivantes para la universidad en la búsqueda de la colaboración son el acceso a financiación para la tecnología, tanto directa de la empresa como acceso a fuentes públicas, posicionamiento respecto a los competidores y

## 2. Revisión Bibliográfica

retroalimentación sobre la validez práctica de la investigación. Por su parte, las empresas buscan acceso a competencias y conocimientos científicos, capacidad y oportunidades para generar innovación y, en última instancia, obtener ventajas competitivas (Bonaccorsi y Piccaluga, 1994; Dooley y Kirk, 2007; Perkmann y Salter, 2012; Philbin, 2008). En la práctica, la construcción de relaciones de colaboración exitosas a menudo ha resultado un verdadero reto debido a factores que pueden agruparse en dos categorías: problemas relacionados con las diferencias culturales entre las organizaciones y problemas relacionados con la propiedad intelectual y la gestión de la tecnología (Dooley y Kirk, 2007; Perkmann y Salter, 2012). Por otra parte, numerosos trabajos hacen referencia a los factores de éxito relevantes en la relación entre empresas y agentes tecnológicos. La tabla 3 recoge algunos de los trabajos que revelan estos factores que influyen en el éxito de la colaboración universidad-industria.

**Tabla 3:** Factores de éxito en la relación empresa-agente científico-tecnológico

Factores de éxito	Referencias
Amplitud de la interacción: los socios interactúan usando múltiples canales	(Aapaoja y Kujala, 2012), (Bruneel et al., 2010), (Butcher y Jeffrey, 2007), (D'Este y Patel, 2007), (Plewa y Quester, 2007), (Plewa et al., 2013), (Rohrbeck y Arnold, 2006)
Elección de socios: se presta atención a cuestiones como el encaje cultural, estratégico y la proximidad geográfica al planificar asociaciones.	(Barnes et al., 2002), (D'Este et al., 2013), (Mead et al., 1999), (Mora-Valentin et al., 2004), (Plewa y Quester, 2007), (Thune, 2011)
Roles claramente definidos: los roles y las responsabilidades están claramente definidos y comunicados	(Barbolla y Corredera, 2009), (Barnes et al., 2002), (Nielsen et al., 2013), (Rohrbeck y Arnold, 2006)
Política clara sobre derechos de propiedad intelectual y publicaciones.	(Barbolla y Corredera, 2009), (Bruneel et al., 2010), (Bstieler et al., 2015), (Rohrbeck y Arnold, 2006)
Compromiso con la colaboración: la dirección asigna los recursos apropiados para la colaboración y asume un papel de liderazgo.	(Barnes et al., 2002), (Butcher y Jeffrey, 2007), (Mora-Valentin et al., 2004), (Plewa y Quester, 2007), (Plewa et al., 2013), (Rohrbeck y Arnold, 2006), (Schubert y Bjørn-Andersen, 2012), (Thune, 2011)
Comunicación: existen canales para el intercambio efectivo de información y se utilizan activamente tanto dentro como entre organizaciones	(Barnes et al., 2002), (Butcher y Jeffrey, 2007), (Karlsson et al., 2007), (Mead et al., 1999), (Mora-Valentin et al., 2004), (Plewa et al., 2013)
Los métodos de trabajo apoyan la creación de valor para ambas partes.	(Barbolla y Corredera, 2009), (Barnes et al., 2002), (Rohrbeck y Arnold, 2006), (Schubert y Bjørn-Andersen, 2012)
Confianza entre organizaciones: la confianza mutua es un requisito clave para el éxito.	(Barbolla y Corredera, 2009), (Barnes et al., 2002), (Bruneel et al., 2010), (Bstieler et al., 2015), (Nielsen et al., 2013), (Plewa y Quester, 2007), (Plewa et al., 2013), (Rohrbeck y Arnold, 2006), (Schubert y Bjørn-Andersen, 2012)
Misión, objetivos y beneficios mutuamente compartidos: ambas partes entienden y acuerdan los objetivos de la colaboración.	(Barnes et al., 2002), (Butcher y Jeffrey, 2007), (Mead et al., 1999), (Nielsen et al., 2013), (Plewa et al., 2013), (Rohrbeck y Arnold, 2006)
Experiencia de colaboración previa: la acumulación de experiencia de colaboración mutua aumenta las posibilidades de éxito.	(Barnes et al., 2002), (Bruneel et al., 2010), (Butcher y Jeffrey, 2007), (Mora-Valentin et al., 2004)
Gestión y seguimiento de proyectos: los proyectos de colaboración se gestionan activamente a lo largo de su ciclo de vida.	(Barnes et al., 2002), (Bstieler et al., 2015), (Butcher y Jeffrey, 2007), (Nielsen et al., 2013), (Rohrbeck y Arnold, 2006)
Uso de indicadores clave de rendimiento: la colaboración se evalúa y supervisa de forma sistemática.	(Barnes et al., 2002), (Perkmann et al., 2011), (Plewa et al., 2013), (Rohrbeck y Arnold, 2006), (Thune, 2011)



## 2. Revisión Bibliográfica

Una evaluación de los socios de colaboración desde la estrategia y la evaluación del encaje y sinergia organizacional (Mead et al., 1999), puede ayudar a desarrollar relaciones productivas entre la universidad y la industria (Plewa y Quester, 2007). Los factores a considerar incluyen la importancia estratégica de la colaboración o de la tecnología a transferir para ambos, habilidades y experiencia complementarias, también la proximidad geográfica (D'Este et al., 2013) y el tamaño de la empresa (Butcher y Jeffrey, 2007). Las experiencias de colaboración, entre ambas partes y también generales, previas afectan el éxito (Mora-Valentin et al., 2004). La experiencia previa de colaboración reduce las barreras relacionales (Bruneel et al., 2010), y la experiencia de colaboradores o gestores de la colaboración que han trabajado juntos antes se relaciona con la percepción de éxito (Butcher y Jeffrey, 2007).

La clara definición de los roles en la colaboración es importante para evitar generar un desajuste entre las expectativas de ambas partes (Barnes et al., 2002) que pueda afectar negativamente a la transferencia de tecnología (Barbolla y Corredera, 2009). En este sentido, Rohrbeck y Arnold (2006) proponen una estructuración de los roles en la que el personal universitario se focalice en las tareas de la colaboración más orientadas a la investigación, mientras que el personal de la industria se enfoca en las actividades de desarrollo e implantación de esas tecnologías. Tener una política clara y compartida sobre derechos de propiedad intelectual, publicaciones y patentes ayuda a la generación de confianza (Bstieler et al., 2015), ya que los conflictos con los departamentos de transferencia de tecnología y la administración de la universidad pueden potencialmente generar barreras en las empresas que entorpecen la colaboración (Bruneel et al., 2010). Del mismo modo, las empresas deben tener la capacidad corporativa para explotar los resultados de la colaboración (Barbolla y Corredera, 2009).

La metodología de trabajo en el proyecto de colaboración debe también soportar y potenciar la creación de valor para ambas partes. La definición y aplicación de un conjunto apropiado de métodos de colaboración apoya la generación de rigor y, con ello, la relevancia que se otorga a la colaboración (Schubert y Bjørn-Andersen, 2012), y los métodos y estructuras específicas para apoyar la transferencia y la implementación en el mercado, entre los que se incluye la creación de spin-offs, pueden permitir a los investigadores centrarse en el trabajo científico (Rohrbeck y Arnold, 2006).

La gestión activa y sistemática del proyecto durante todo el ciclo de vida de la colaboración es importante (Nielsen et al., 2013), y la gobernanza compartida contribuye a la creación de confianza, así como a permitir ajustes que respondan a los cambios en el entorno del proyecto de manera acordada y coordinada (Bstieler et al., 2015). Gestionar de manera clara y acordada los conflictos o divergencias que surjan en la colaboración o en el entorno que la afecta también afecta el éxito (Mora-Valentin et al., 2004). La misión, los objetivos y los beneficios de la colaboración deben acordarse al comienzo de la colaboración, y deben comunicarse y gestionarse en ambas organizaciones con la ayuda de una estructura de gestión adecuada (Barnes et al., 2002; Mead et al., 1999). También los resultados esperados, y los entregables

## 2. Revisión Bibliográfica

en que se materializan, deben estar claramente definidos, describiendo cómo se realiza el seguimiento y control de la consecución de los resultados esperados (Rohrbeck y Arnold, 2006).

La extensión estructurada de los canales de comunicación en ambas organizaciones incide positivamente en el progreso de la colaboración, promueve la generación de confianza y contribuye al éxito de la colaboración (Bruneel et al., 2010; D'Este y Patel, 2007). Si bien las buenas relaciones personales son claramente beneficiosas, confiar solo en ellas plantea riesgos y la estructuración y sistematización ayudan a potenciar la base creada en esa confianza personal (Aapaoja y Kujala, 2012; Rohrbeck y Arnold, 2006). La comunicación debe respaldarse desarrollando una estrategia y estructura de comunicación clara y facilitando la interacción frecuente (Barnes et al., 2002; Mead et al., 1999), apoyando en particular a los investigadores con menos experiencia, que pueden tener menor acceso natural a la comunicación con los representantes de la empresa (Butcher y Jeffrey, 2007).

El compromiso de la dirección en ambas entidades es particularmente necesario para superar una resistencia natural por parte de los investigadores y técnicos al intercambio de información sensible (Barnes et al., 2002), y para motivar a la colaboración (Bstieler et al., 2015). Un mecanismo para fomentar el compromiso en la colaboración puede ser una política de recursos humanos que proponga equipos de investigadores dedicados al trabajo de investigación colaborativa y transferencia (Rohrbeck y Arnold, 2006), y que proponga incentivos relacionados con el éxito en la colaboración (Barnes et al., 2002). De la misma manera, en la universidad la aplicación de incentivos académicos asociados a los resultados de la colaboración con empresas y la transferencia de resultados a la industria es un mecanismo para fomentar estas actividades (Karlsson et al., 2007). Especialmente desde el lado empresarial, la visión a medio y largo plazo de la colaboración, evitando estrategias de urgencia y cortoplacismo, es otro factor importante para fortalecer la confianza y la estabilidad en la colaboración. Los modelos de colaboración que abogan por la estrategia de estabilidad ayudan a afianzar la confianza entre las entidades (Aranguren et al., 2013; Barry y Fenton, 2013). En esa estrategia de colaboración estable y generación de confianza, comenzar con proyectos más pequeños, que puedan generar pequeños éxitos, es un factor que ayuda a construir esa confianza y compromiso en los colaboradores a lo largo del tiempo (Barnes et al., 2002; Nielsen et al., 2013; Schubert y Bjørn-Andersen, 2012; Thune, 2011). Desde el lado de los agentes de investigación, la colaboración con la empresa debe verse en un marco integral estratégico, en el que se consideren integralmente factores estratégicos, organizacionales, tecnológicos, de mercado y económicos (Garrigós et al., 2014).

El papel y el comportamiento de la dirección es fundamental (Bstieler et al., 2015) pero no lo es menos el de los responsables de la gestión de la colaboración (Barnes et al., 2002) ya que son la clave para la generación de la confianza y la estabilidad de la colaboración.

También el estado de desarrollo y madurez de la tecnología es considerada un factor para el éxito de la colaboración, así Barbolla y Corredera (2009) consideran que la madurez de la tecnología

## 2. Revisión Bibliográfica

contribuye al éxito en proyectos de transferencia.

Finalmente, y aunque en la era de la globalización y las comunicaciones puede parecer un aspecto superado, es evidente que la distancia geográfica es otro factor que condiciona las relaciones universidad-empresa. Una distancia geográfica adecuada mejora el acceso a instalaciones y recursos humanos (Myoken, 2013) y hace que la colaboración entre la industria y los socios universitarios sea más probable (D'Este et al., 2013). Incluso hoy, la interacción cara a cara se prefiere a otras formas de comunicación y, por lo tanto, puede ser una motivación para entablar una colaboración con una proximidad geográfica cercana (Indarti y Wahid, 2013). Y, aunque es cierto que cuando la colaboración está originada en relaciones personales (por ejemplo, antiguos alumnos o técnicos que han realizado estancias) el factor de proximidad puede perder influencia (Drejer y Østergaard, 2017), los mismos estudios concluyen que, en general, la proximidad geográfica es importante para la colaboración.

La medición sistemática de la consecución de los objetivos de la colaboración y el establecimiento de indicadores clave de rendimiento que apoyen esos objetivos es también un factor a tener en cuenta en los marcos de colaboración. Estos indicadores deben definirse al comenzar la fase operativa de un proyecto de colaboración (Mead et al., 1999), deben tener en cuenta varias dimensiones del éxito, y pueden variar y modificarse según avanzan las fases de la colaboración (Plewa y Quester, 2007). Estos indicadores de rendimiento pueden asociarse a criterios de calidad y excelencia organizacional, siguiendo modelos establecidos como EFQM (Kauppila et al., 2015a).

### **2.3.3 Modelos y prácticas de colaboración**

En el pasado, las empresas tendían a percibir las relaciones con las universidades como contratos o patrocinios puntuales que proporcionaban conocimientos básicos o resolución de problemas específicos a cambio de financiación (Santoro y Betts, 2002). Sin embargo, en la actual industria y economía basadas en el conocimiento, se ha evolucionado hacia el reconocimiento de un mayor valor en formas y modelos de colaboración que permite el intercambio a largo plazo de nuevas ideas y capacidades de innovación, así como el enriquecimiento de ambas partes a través del intercambio de la experiencia complementaria (Jacob et al., 2000; McConnell y Cross, 2019; Santoro y Betts, 2002). Hoy en día, se han diversificado diferentes actividades de cooperación industria-universidad, como investigación y desarrollo conjuntos, programas de educación y capacitación, sistematización de la transferencia de conocimiento o tecnología, e intercambio de recursos humanos e información (Seppo y Lilles, 2012). Dentro de esta estrategia, son numerosos los trabajos de investigación que han profundizado en diferentes aspectos de la colaboración, desde la motivación (Dutrénit et al., 2010; Perkmann et al., 2011) y los factores clave de éxito (Kauppila et al., 2015; Mora-Valentin et al., 2004; Rybnicek y Königsgruber, 2018), hasta la correcta selección de los socios (Kang et al., 2019; Xu et al., 2020), la configuración de los aspectos fundamentales a considerar en los acuerdos (Aranguren et al., 2013; Gámez-Pérez et al., 2020; Ivascu et al., 2016) y los diferentes métodos y herramientas para evaluar el comportamiento de la

## 2. Revisión Bibliográfica

colaboración (Perkmann et al., 2011; Piva y Rossi-Lamastra, 2013; Thune, 2011) y el impacto alcanzado (McConnell y Cross, 2019; Meroño-Cerdán et al., 2008; Siegel et al., 2003a).

En términos generales, un acuerdo de colaboración consiste en un modelo híbrido que incluye características pertenecientes al mercado y a la empresa. Por un lado, existen acuerdos entre empresas independientes que intercambian o comparten recursos, para llevar a cabo ciertas actividades dentro de un período de tiempo determinado, bajo una perspectiva de flexibilidad). Por otro lado, esto conduce a relaciones estables y dependencia mutua entre las partes que cooperan bajo una perspectiva de estrategia y sostenibilidad. Phillips et al. (2000) definen una relación de cooperación como aquella que surge entre organizaciones y que no utiliza ni el mercado ni la jerarquía como mecanismo de control.

Los acuerdos de cooperación entre empresas y universidades o agentes de investigación pueden caracterizarse a partir de criterios generalmente aceptados en el estudio de las relaciones de cooperación entre empresas. Más específicamente, se puede decir que estos son acuerdos centrados o enfocados (tecnológicos), con una relación vertical u horizontal complementaria entre los socios, y una contribución de activos asimétricos, que duran por períodos de tiempo variables, y que no afectan la estructura accionarial de los socios cooperantes (Aranguren et al., 2013).

El tipo de colaboración depende en gran medida de las razones y las motivaciones por las que se genera la misma (Ehrismann y Patel, 2015). Entre éstas, el acceso a nuevas tecnologías y recursos tecnológicos, la competitividad mejorada, el prestigio, la reducción de costos y el acceso a fuentes extraordinarias de financiación, se destacan como los más frecuentes desde la visión de la empresa al decidir trabajar en colaboración con un agente de investigación (Frølund et al., 2018).

A mediados de la década de 1980, Gray (1985) propuso un modelo teórico mediante el cual el éxito de las relaciones entre organizaciones dependía de la interacción, en el momento adecuado, de varias condiciones que debían existir en el proceso de colaboración. Establecía dos fases para la configuración del acuerdo. En la primera fase se trabajan las condiciones relacionadas con la confianza mutua, tales como la participación de las partes, la identificación de los participantes en el proceso, la identificación de las expectativas positivas de los socios, y una correcta distribución del poder entre las partes. En la segunda etapa, los aspectos a trabajar son la definición de valores comunes y la creación de una estructura formal donde se definan los roles y responsabilidades de las partes, el establecimiento de mecanismos de coordinación, la redistribución adecuada del poder y los mecanismos de seguimiento.

Según Chiesa y Manzini (1998), la elección de un método de organización adecuado es esencial para el éxito de los acuerdos de cooperación tecnológica. Estos autores proponen un modelo para hacer tal elección, basado en tres categorías de factores: el objetivo de la colaboración, el contenido de la colaboración y el tipo de socios involucrados.

El trabajo realizado por los consultores de Asesoría Zabala (2006) a través de cuestionarios

## 2. Revisión Bibliográfica

enviados a centros tecnológicos y empresas estudió los acuerdos de cooperación entre ambos tipos de organizaciones y los mayores factores limitantes. La falta de estrategias de la empresa, los recursos limitados disponibles por parte de las empresas, el desconocimiento de las capacidades de los agentes tecnológicos y la configuración del equipo y la comunicación entre las partes se mostraban como los más influyentes.

Etzkowitz et al. (1998) y posteriormente Mora-Valentín (2000), proponen un modelo de colaboración incidiendo en una serie de medidas clave para configurar un acuerdo a largo plazo contrato que aborde los derechos de propiedad de los resultados de la investigación, la fórmula de la relación y la medición del impacto, entre otros puntos. El trabajo de Urrutia et al. (2010) muestra que, con las herramientas adecuadas, se pueden abordar las dificultades que enfrentan las empresas, con un enfoque especial en las PYMEs, al estructurar una estrategia tecnológica y plasmarla en un plan tecnológico.

Algunos autores han analizado la dimensión geográfica de los acuerdos de colaboración. Así, según Dill (1990) la proximidad geográfica es un claro factor favorable, si bien el desarrollo de la tecnología de las comunicaciones reduce parcialmente esta importancia (Mansfield y Lee, 1996). Los propios autores relatan la creciente importancia de los parques científicos y tecnológicos como focos de concentración de organizaciones tecnológicas que propicia la oportunidad de generación de acuerdos multidisciplinarios para las empresas. En esta misma línea Myoken (2013), en un estudio centrado en Japón, concluye que las empresas ubicadas en parques científicos y en campus universitarios mostraron mayores tasas de satisfacción en términos de beneficios tecnológicos y comerciales de su relación con los agentes de investigación. D'Este et al. (2013), indican que la proximidad geográfica hace que las colaboraciones de investigación universidad-industria sean más probables, pero no da tanta importancia a la concentración multitecnológica.

Philbin (2008b, 2009) plantea un enfoque desde la gestión de la colaboración que se compone de dos plataformas principales de actividad: una plataforma de concepto y una plataforma de proceso que incluye metodologías de gestión estructuradas para facilitar el proceso de colaboración de investigación, proporcionando un roadmap de la colaboración. La aplicación de este marco de gestión combinado en un caso de uso se tradujo en un aumento significativo de la cartera de investigación financiada industrialmente de la universidad en el sector aeroespacial y de defensa.

Aranguren et al. (2013) proponen un modelo de colaboración empresa-centro tecnológico que se estructura en tres niveles: el nivel estratégico que establece el propósito del modelo, el nivel táctico-organizacional que define la estructura organizacional, el proceso, etapas, métodos y técnicas y, por último, el nivel tecnológico operativo que aporta herramientas y sistemas para llevarlo a cabo la gestión, seguimiento y medición del comportamiento del acuerdo.

Frølund et al. (2018) analizan la evolución de la colaboración universidad-empresa desde actuaciones puntuales “*ad-hoc*” hacia acuerdos estables con compromisos a largo plazo y recogen algunos ejemplos representativos de modelos utilizados por grandes entidades como

## 2. Revisión Bibliográfica

Siemens, IBM, MIT o Amazon.

Pogatsnik (2018) analizan el modelo de educación dual como herramienta para fomentar la colaboración universidad-empresa, además de mejorar la formación de los estudiantes. Concluye con un análisis de los beneficios obtenidos por las tres partes, entre los que destacan por parte de la empresa no sólo la disponibilidad de formar profesionales especializados en sus tecnologías sino también el canal de relación con la universidad que generan los profesionales incorporados a través de este mecanismo y el efecto motivador que crean en la organización.

Gámez-Pérez et al. (2020) desarrollan una investigación centrada en la definición de un modelo internacional de colaboración universidad-industria para desarrollar competencias de gestión de la cadena de suministro en los estudiantes como una herramienta para la formación de futuros profesionales. El modelo consta de tres fases principales desde la génesis de la colaboración hasta la evaluación del desarrollo de competencias.

En lo que respecta a colaboración entre centros tecnológicos y empresas, la literatura es escasa, si bien es cierto que, como se ha mencionado al inicio del capítulo, muchos aspectos son directamente trasladables de la colaboración universidad-empresa. Más allá de algunos modelos específicos como el presentado por Aranguren et al. (2013), hay más referencias a la involucración de los centros tecnológicos en aspectos más generales relacionados con la innovación abierta, de forma directa o indirecta. En este sentido, se han identificado trabajos que tratan de medir el impacto que los centros tecnológicos tienen en el sistema de innovación (Schillo y Kinder, 2017) o en el beneficio que obtienen las empresas que colaboran con ellos (Barge-Gil y Modrego-Rico, 2008; Giannopoulou, 2016). En esta línea, algunos autores plantean cómo el centro tecnológico puede apoyar a la empresa en las diferentes etapas de su proceso de innovación abierta (Philbin et al., 2014). Este enfoque está en consonancia con la misión principal de los centros tecnológicos, que es precisamente la de transferir conocimiento y tecnología a la empresa y por tanto parece relevante centrarse en la medición de este impacto (Morillo y Efrain-Garcia, 2015). En general, estos trabajos tienen su foco en las empresas, y consideran el impacto que las colaboraciones con centros tecnológicos tienen en su desempeño (Barge-Gil et al., 2011; Barge-Gil y Modrego-Rico, 2008; Schillo y Kinder, 2017). Algunos autores (Albors et al., 2014; Rincón-Díaz y Albors-Garrigós, 2013; Roessl y Hyslop, 2016), se han centrado en analizar las variables de contexto y organizacionales e identificar las barreras que los centros tecnológicos encuentran para trabajar con empresas y las maneras de superarlas. Otros autores han profundizado en los tipos de interacciones de los centros tecnológicos con las empresas (Nerdrum y Guldbrandsen, 2009), que van más allá de la prestación de servicios tecnológicos abarcando el trabajo en un entorno colaborativo más abierto (Sompong y Udomvitid, 2015). Otros autores incluyen a los centros tecnológicos en el escenario de la triple hélice (Etzkowitz y Leydesdorff, 1995), destacando que el desempeño científico de los centros de investigación puede ser beneficiado por su interacción con un amplio número de actores en los sistemas de innovación de la triple hélice (Chen et al., 2017), o como intermediarios entre la universidad, la empresa y la

administración pública, aportando su labor de adquisición de la ciencia, transferencia de la tecnología y capacidad de acceso a fondos públicos (Ankrah y AL-Tabbaa, 2015; Prager, 2011; Xu et al., 2020).

### **2.4 Capacidad de absorción tecnológica de las empresas**

En este apartado se va a recoger la literatura que hace referencia al concepto capacidad de absorción, en los términos generales del concepto y desde la visión de la capacidad que permite a las empresas adquirir, integrar y explotar un conocimiento o una tecnología externa. Este concepto tiene interés en este trabajo de investigación ya que, como se viene argumentando a lo largo de la memoria, se entiende que el éxito en la selección y posterior desarrollo de una tecnología en un centro tecnológico depende de la transferencia de esa tecnología al mercado y, por tanto, está condicionado por la capacidad de las empresas cliente para adoptar e industrializar esa tecnología.

#### **2.4.1 Definiciones del concepto capacidad de absorción**

El concepto capacidad de absorción fue introducido por Cohen y Levinthal (1989), quienes en su primer trabajo no específico sobre el término, pero en el que lo dan a conocer (Cohen y Levinthal, 1989), lo definieron como la habilidad de la empresa para identificar, asimilar y explotar el conocimiento del entorno. En un trabajo posterior (Cohen y Levinthal, 1990), específicamente focalizado en la capacidad de absorción, señalan que es la habilidad de la empresa para reconocer el valor de la nueva información, asimilarla y aplicarla para fines comerciales y en los procesos de innovación. En sus trabajos remarcan que una de las capacidades fundamentales de una empresa en su estrategia de competitividad y desarrollo es la actividad de investigación y desarrollo, que permite generar el conocimiento útil necesario para el desempeño y desarrollo de la empresa. Desde su perspectiva, la importancia de la capacidad de absorción y adopción de nuevas tecnologías y conocimientos está relacionada con la tendencia creciente a la formación de acuerdos y relaciones de colaboración para la investigación. También defienden que la capacidad de absorción es un factor que las empresas tienen en cuenta de manera fundamental en su decisión de abordar nuevas actividades innovadoras.

Algunos autores hacen referencia a la capacidad de absorción como una capacidad dinámica de la empresa, de manera que permite integrar, construir y configurar competencias internas y externas para hacer frente a entornos rápidamente cambiantes. De esta manera, esta capacidad dará soporte al proceso innovador de la empresa (Cohen y Levinthal, 1990; Murovec y Prodan, 2009; Patterson y Ambrosini, 2015; Zahra y George, 2000), permitiéndole gestionar de manera eficaz el conocimiento obtenido del exterior y aplicarlo a rutinas, tareas y habilidades diarias en contextos competitivos cambiantes (Camisón y Forés, 2014; Mowery et al., 1996; Teece et al., 2009) .

La intrínseca relación de la capacidad de absorción con la innovación y la capacitación de la

## 2. Revisión Bibliográfica

empresa ha hecho que sea un concepto ampliamente utilizado en una gran variedad de campos de la investigación y la estrategia tales como la formulación de estrategias (Flor et al., 2011), la cooperación entre diferentes organizaciones (de Jong y Freel, 2010; Lane y Lubatkin, 1998), la gestión de la innovación (Benson y Ziedonis, 2009; Cohen y Levinthal, 1989, 1990; Nieto y Quevedo, 2005), el aprendizaje organizativo (Lyles y Salk, 1996; Reagans y Mcevily, 2003; Schildt et al., 2012) o la gestión del conocimiento (Foss y Pedersen, 2004; Grant, 1996; Malhotra et al., 2005). Esta amplitud y variedad, que dan idea de la potencia y la universalidad del concepto, han propiciado por otra parte una variedad de definiciones del concepto o adaptaciones del concepto original, recopiladas por algunos autores (Ortiz et al., 2017; Zapata y Hernández, 2018) como se presenta en la tabla 4.

**Tabla 4:** Definiciones de capacidad de absorción

Autores	Definición
(Cohen y Levinthal, 1989, 1990)	Habilidad que permite a las empresas reconocer, asimilar y aplicar el nuevo conocimiento con fines comerciales
(Lane y Lubatkin, 1998)	Habilidad de la empresa para asimilar y aplicar el conocimiento proveniente de otra empresa. Esa capacidad depende de: (1) la similitud entre las organizaciones; (2) el conocimiento base; (3) la estructura organizativa; y (4) la lógica dominante. Este último se ubica dentro del marco de la psicología cognitiva.
(Zahra y George, 2000, 2002)	Conjunto de rutinas y procesos organizativos a través de los cuales las empresas adquieren, asimilan, transforman y explotan conocimientos con la intención de crear capacidades dinámicas organizativas
(Lane et al., 2006)	La empresa utiliza el conocimiento del entorno a través de tres procesos secuenciales: (a) el reconocimiento y entendimiento de nuevo conocimiento mediante el aprendizaje exploratorio; (b) la asimilación de nuevos conocimientos por medio del aprendizaje transformador; y (c) el uso del conocimiento asimilado para generar otros nuevos mediante el aprendizaje.
(Todorova y Durisin, 2007)	Capacidad de una empresa para valorar, adquirir, asimilar o transformar y explotar el conocimiento externo en los procesos organizacionales
(Jiménez-Barrionuevo et al., 2011)	Habilidad relativa de la organización para desarrollar un conjunto de rutinas organizacionales y procesos estratégicos a través de los que se adquiere, asimila, transforma y explota conocimiento de fuera de la organización con el objetivo de crear valor
(Schillaci et al., 2013)	Extiende la capacidad de absorción a la competencia entre las regiones o territorios, y la definen como la capacidad de una región para identificar, asimilar y explotar el conocimiento.
(Chang et al., 2014)	Conjunto de habilidades de la empresa para adquirir, asimilar, transformar y explotar el conocimiento para producir nuevas capacidades.
(Patterson y Ambrosini, 2015)	Proceso a través del cual el conocimiento se mueve entre sus distintos componentes o dimensiones de manera secuencial, desde el punto de las capacidades dinámicas
(Garzón, 2015)	La habilidad de la organización para reconocer el valor del conocimiento externo (entorno), adquirirlo y asimilarlo dentro del ámbito de la organización, y aplicarlo en el ámbito de sus operaciones.
(Martinkenaite y Breunig, 2016)	Conjunto de procesos secuenciales de aprendizaje exploratorio, transformador y explotador en los que interactúan dinámicamente las habilidades individuales y organizacionales.
(Peltokorpi, 2017)	Es la capacidad de las filiales, a través de sus miembros, de absorber, asimilar y utilizar nueva información disponible en la empresa multinacional.



### **2.4.2 Configuración y estructuración del concepto capacidad de absorción**

Conjuntamente con las definiciones del concepto, los autores más representativos han debatido sobre las fases en que puede estructurarse la capacidad de absorción, en aproximaciones que conectan el concepto con la temática de la presente tesis doctoral, en los aspectos relacionados con las características y capacidades del centro tecnológico y, especialmente, las empresas destinatarias de las tecnologías a desarrollar por el centro.

En esta discusión sobre la estructura del concepto capacidad de absorción se parte, de nuevo, del planteamiento base de Cohen y Levinthal (1990, 1989) para quienes la capacidad de absorción se puede estructurar en tres capacidades: a) reconocimiento del valor del nuevo conocimiento (fase de exploración del conocimiento); b) asimilación de ese conocimiento que implica comprenderlo e integrarlo en los procesos y rutinas de la organización (fase de transformación del conocimiento); c) aplicación de ese conocimiento y las capacidades desarrolladas para la obtención de nuevos productos (fase de explotación). Siguen esta línea Aguilar-Olaves et al. (2014), que describen un proceso secuencial donde primero se reconoce el conocimiento potencialmente valioso (aprendizaje de exploración), a continuación se asimila ese conocimiento (aprendizaje de transformación), y finalmente se utiliza para innovar y crear nuevo conocimiento con valor para el mercado (aprendizaje de explotación).

En este mismo concepto de tres fases, Lane et al. (2001). destacan el papel fundamental de la capacidad de absorción en el proceso de aprendizaje y desempeño interorganizacional, en una investigación ubicada en un entorno internacional de *joint ventures*, en el que definen tres fases: capacidad de comprender el conocimiento externo, de asimilarlo y de aplicarlo, introduciendo factores como la existencia de vínculos entre los diferentes campos de acción de las empresas, sus problemas y las prioridades que les asignan a cada una de las fases. Así mismo, la aplicación del conocimiento externo incluye la capacidad de difundirlo e integrarlo a las actividades sistemáticas de la organización.

Lichtenthaler (2016) también describe tres dimensiones principales: a) exploración del conocimiento, proceso mediante el cual se identifica y se adquiere el conocimiento útil externo mediante diferentes mecanismos de vigilancia y prospección del entorno; b) retención de conocimientos, incidiendo en el mantenimiento y reactivación del conocimiento en la organización a lo largo del tiempo; c) explotación del conocimiento, consiste en la transformación del conocimiento en nuevos productos y servicios. Lichtenthaler hace hincapié en la orientación proactiva de la organización como elemento motivador de los procesos organizacionales y dentro de ellos de la transformación del conocimiento exterior en negocio para la empresa.

Zahra y George (2002, 2000) proponen una reconceptualización de la capacidad de absorción, definiéndola como un conjunto de rutinas y procesos organizacionales que permiten a la empresa adquirir, asimilar, transformar y explotar el conocimiento externo. La revisión de estos autores gira en torno al cambio de tres a cuatro dimensiones: adquisición, asimilación, transformación y aplicación. a) adquisición, se identifica y se reconoce el valor del conocimiento

## 2. Revisión Bibliográfica

externo que será seleccionado y luego utilizado en las operaciones de la empresa. b) asimilación, capacidad de la empresa para absorber y transferir el conocimiento externo. Se alcanza mediante un conjunto de rutinas y procesos necesarios para analizar, interpretar y comprender el conocimiento adquirido. c) transformación, habilidad de la empresa para desarrollar y mejorar los procesos y rutinas que facilitan la transferencia y combinación del conocimiento existente a partir de uno nuevo. Esto se logra incorporando conocimiento o interpretándolo de forma diferente y adaptándolo. Y d) aplicación o explotación, que se basa en las rutinas que permiten a la empresa actualizar, ampliar y aprovechar las competencias existentes o crear nuevas competencias incorporando el conocimiento adquirido y adaptado a sus operaciones.

Camisón y Forés (2014) siguen esta corriente, proponiendo cuatro dimensiones diferenciadas pero complementarias: adquisición, asimilación, transformación y explotación. La adquisición la definen como la capacidad de una empresa para identificar, valorar y adquirir conocimiento externo crítico; la asimilación la definen como la capacidad de la empresa para absorber el conocimiento externo, mediante rutinas y procesos internos que permiten a la empresa procesar, interpretar y comprender la información obtenida de fuentes externas. La transformación es la habilidad para desarrollar y mejorar las rutinas internas que facilitan la integración y combinación de los conocimientos adquiridos con los conocimientos previos de la empresa. Finalmente, la explotación la definen como la competencia de la empresa para aplicar el nuevo conocimiento en los procesos productivos.

También plantean cuatro dimensiones Todorova y Durisin (2007), pero combinando conceptos de Cohen y Levinthal (1990, 1989) con conceptos de Zahra y George (2002, 2000). Así, las dimensiones que plantean son: a) reconocimiento del valor del conocimiento, en línea con la idea de Cohen y Levinthal; b) adquisición; c) transformación o asimilación (aunando dos dimensiones de Zahra y George); y d) explotación. Para estos autores el reconocimiento del valor del conocimiento es un paso previo a su adquisición, conformando un componente clave de la capacidad de absorción, puesto que su valoración no es automática, y defienden que la capacidad de aprender, es decir, de absorber el conocimiento externo, depende en gran medida de la capacidad de valorar adecuadamente el nuevo conocimiento. Otros autores, ubican esta dimensión dentro del proceso de adquisición (Duchek, 2013; Volberda et al., 2010; Zahra y George, 2000, 2002).

Coincidiendo en la aseveración de que no habiendo un consenso en el número de dimensiones que configuran el concepto, la mayoría de los autores hacen referencia a los conceptos de identificación, adquisición, asimilación, transformación, explotación, Hurtado-Ayala y Gonzalez-Campo (2015) aportan un resumen de las principales propuestas de configuración del concepto, además de aportar una recopilación de indicadores y métodos de medición de la capacidad de absorción recogidos en la bibliografía.

### 2.4.3 Factores determinantes de la capacidad de absorción

El siguiente nivel de definición del concepto de capacidad de absorción que han trabajado diferentes investigadores ha sido la formulación de los determinantes que caracterizan las dimensiones que configuran el concepto y las posibilidades de realizar una medición de la capacidad de absorción (Hurtado-Ayala y Gonzalez-Campo, 2015; Jiménez-Barrionuevo et al., 2011; Zapata y Hernández, 2018). Así, la capacidad de absorción puede estar influenciada por diversas fuentes de conocimientos externos e internos (Mariano y Walter, 2015; Todorova y Durisin, 2007; Van den Bosch et al., 1999), tales como el conocimiento previo, acumulado por su experiencia, competencias básicas y el lenguaje común compartido, que facilitan y promueven el reconocimiento del valor de la información, su asimilación, transformación y aplicación. Camisón y Forés (2007) también lo estructuran en determinantes externos e internos. Entre los internos recogen los conocimientos de la empresa, cultura de innovación y aprendizaje, diseño organizativo abierto al aprendizaje, sistemas de gestión del conocimiento, edad y tamaño de la empresa. Entre los externos el grado de turbulencia del entorno, la existencia de oportunidades tecnológicas, las características del conocimiento de otras empresas y la distancia geográfica con la fuente de conocimiento. Para otros autores (Escribano et al., 2009; Kostopoulos et al., 2011; Roberts et al., 2012; Valentim et al., 2016) depende de factores como la formación de los miembros de la organización y sus conocimientos acumulados, de la inversión e intensidad en I+D, de la existencia de áreas organizativas dedicadas a las actividades de investigación, del número de trabajadores con cualificación para desarrollar actividades de I+D, la cantidad de patentes y la proporción de personal científico y técnico en relación con el total de empleados. En una línea similar, Schillaci et al. (2013) añaden a los factores asociados a las capacidades de los recursos humanos (nivel de conocimiento, experiencia y formación), las relacionadas con los recursos financieros y de equipamiento (inversión en I+D, equipamiento y recursos dedicados a ejecutar proyectos de investigación) y aspectos relacionados con la estructura organizativa: diseño orientado a la capacitación y a estimular la transferencia de conocimiento entre departamentos y personas, la estrategia y los mecanismos de toma de decisión. González-Campo y Ayala (2014) añaden a estos factores los asociados a los canales de relación de la empresa con agentes externos, tanto proveedores de conocimiento como receptores y aplicadores de la tecnología y los productos y servicios derivados.

Zahra y George (2002, 2000) en su reconceptualización, introducen la novedad de que consideran la capacidad de absorción como un concepto dinámico, clasificando los determinantes según su capacidad de absorción potencial (que denominan PACAP) y capacidad de absorción realizada (RACAP). La primera, en la que identifican las fuentes externas de conocimiento: clientes, competidores, consultoras, instituciones universitarias, centro de investigación y congresos, proporciona a la empresa flexibilidad para adaptarse y evolucionar al ritmo de las exigencias del entorno cambiante. Por otra parte, las actividades que estimulan RACAP: implementación, aplicación, conversión y recodificación del esfuerzo innovador, los procesos tecnológicos, y la introducción de nuevos productos y servicios o la

mejora de los existentes, proporcionan a la empresa la capacidad para apalancar el conocimiento adquirido.

### **2.4.4 Medición de la capacidad de absorción**

La literatura relativa a la capacidad de absorción presenta dos diferentes enfoques para medirla: cuantitativo y cualitativo (Kostopoulos et al., 2011). El enfoque cuantitativo se basa en la medición de factores indirectos asociados a los resultados en la empresa que se relacionan o derivan de la capacidad de absorción y aprendizaje, según las fases descritas en apartados anteriores, tales como: la inversión en I + D e intensidad de I + D (Cohen y Levinthal, 1990; Meeus et al., 2001; Tsai, 2001), el número de empleados con un título universitario (Grimpe y Sofka, 2009), la existencia de un departamento de I + D (Cassiman y Veugelers, 2002), la proporción de personal técnico y científico con respecto al número total de empleados (Spanos y Voudouris, 2009) y patentes (Mowery et al., 1996; Nicholls-Nixon, 1993), y está relacionado con la comprensión de la capacidad de absorción como contenido, es decir, la naturaleza del conocimiento que se transfiere.

El enfoque cualitativo utiliza medidas que evalúan la generación y comportamiento de procesos y dimensiones asociados a la capacidad de absorción (Flatten et al., 2011; Gold et al., 2001; Jansen et al., 2005; Lane et al., 2001; Liao et al., 2003) o aspectos como la existencia de un departamento específico de I+D (Veugelers, 1997). Este enfoque formula una operacionalización multidimensional de la capacidad de absorción, desarrollando instrumentos de elementos múltiples que cubren los diferentes aspectos de la capacidad de absorción, en las fases en las que se estructura ésta, según los diferentes autores (Camisón y Forés, 2007, 2014).

Estas diferentes aproximaciones evidencian que la medición de la capacidad de absorción es un área de investigación donde no hay consenso sobre las medidas a adoptar. Según Camisón y Forés (2007), esto significa que la conceptualización de la capacidad de absorción aún carece de una base teórica firme, y para Vega - Jurado et al. (2008) precisamente la falta de un método de medición ampliamente aceptada dificulta la comparación de los resultados obtenidos entre unos y otros investigadores. Estos autores definen tres grupos de factores determinantes: conocimiento organizacional, formalización y mecanismos de integración social. Además, sugieren que estos factores pueden influir en todos los componentes de la capacidad de absorción de las empresas, y que la influencia puede ser positiva o negativa dependiendo de la aplicabilidad del conocimiento absorbido. En una dirección análoga, Jansen et al.(2005) proponen un modelo en el que valoran y tratan de medir la correlación y el impacto de los factores organizaciones en la capacidad de absorción, y concluyen que los mecanismos organizacionales asociados con las capacidades de coordinación mejoran principalmente la capacidad de absorción potencial, mientras que los mecanismos organizacionales asociados con las capacidades de socialización fortalecen principalmente la capacidad de absorción realizada (RACAP según Zahra y George). Schmidt (2005) defiende que la medición de la capacidad de absorción no puede ser absoluta, sino que depende del tipo de industria y el tipo

de conocimiento, no es igual la capacidad de absorción entre áreas de una misma empresa o entre empresas o respecto a un conocimiento científico externo.

## **2.5 El sector del Manufacturing: sector clave basado en la Tecnología y la Innovación**

La evaluación y selección de tecnología y los métodos multicriterio para la toma de decisión entre varias alternativas a evaluar son procesos y métodos de carácter universal, aplicables en cualquier área de conocimiento. Desde esa raíz universal de la metodología, el trabajo de investigación que da lugar a esta tesis se focaliza en las particularidades del sector del Manufacturing, por su relevancia económica y social tanto a nivel internacional, como en particular a nivel local, y también porque se entiende que el modelo a desarrollar puede ser de interés y aplicación en el entorno de las empresas de Manufacturing, y en un siguiente nivel de detalle, en las empresas de Máquina-Herramienta, como proveedoras de tecnología, equipamiento y servicios clave.

### **2.5.1 Posicionamiento, relevancia y evolución del Sector**

El sector del Manufacturing ha sido clave para impulsar el crecimiento económico y el aumento del nivel de vida durante casi tres siglos y continúa haciéndolo, tanto en las economías más avanzadas como en las economías en desarrollo (Manyika et al., 2012). Ya a mediados del siglo pasado Kuznets (1966) describió los patrones de desarrollo a largo plazo de los países en base al análisis empírico de las estructuras sectoriales nacionales y sostuvo que la participación creciente del Manufacturing en el PIB es un factor clave para el crecimiento económico moderno. Kaldor examinó la relación entre el desarrollo industrial y el crecimiento económico y, sobre la base de resultados empíricos, caracterizó al sector del Manufacturing como el principal motor del rápido crecimiento (Kaldor, 1967). Esto no es sólo aplicable a los países más desarrollados, como los doce que Kaldor examinó, sino que también es característico de los países en desarrollo que han experimentado un crecimiento rápido y sostenido (Felipe et al., 2014). La construcción de un tejido de fabricación sigue siendo un paso necesario en el desarrollo de un territorio, aumentando los ingresos y proporcionando la maquinaria, las herramientas y los materiales para construir unas modernas infraestructuras.

Es un hecho que la composición estructural de las economías avanzadas ha cambiado drásticamente durante el período final del siglo XX y el inicio del XXI. De la misma forma que en las etapas iniciales del desarrollo económico, la agricultura generalmente representa la mayor parte del PIB y el empleo, en etapas posteriores, a medida que las economías se industrializan, la participación de la agricultura en el valor agregado total y el empleo generalmente disminuye y el sector manufacturero crece (Ghani et al., 2011). La mayoría de las economías avanzadas están en una fase posterior, que se caracteriza por una tendencia de lenta desindustrialización, es decir, una importancia decreciente de la fabricación en favor del sector servicios fundamentalmente. Esta reducción del peso del Manufacturing es más acusada

## 2. Revisión Bibliográfica

en términos de empleo, lo que explica por qué el debate sobre la desindustrialización en los países avanzados a menudo se centra en la pérdida del empleo en la fabricación (OECD, 2013a).

En esta situación, si bien es cierto que el empleo en fabricación ha disminuido, la producción ha seguido creciendo, gracias al gran incremento de la productividad. Así, el valor añadido generado por el Manufacturing ha crecido significativamente en todos los países avanzados desde la década de los noventa. La crisis de 2008 frenó ese proceso, pero el crecimiento se ha recuperado nuevamente desde entonces (OECD, 2015).

Un aspecto muy importante a considerar es el hecho de que, si bien el empleo en fabricación en general ha disminuido, esto no se ha producido de la misma manera en todos los tipos de industrias. Aunque existen diferencias significativas entre los países (Pilát et al., 2006), es una evidencia que las industrias intensivas en conocimiento y tecnología están obteniendo mejores índices, incrementando su ventaja competitiva, en contraste con las industrias de baja intensidad tecnológica, que han sufrido importantes pérdidas de empleos en las economías occidentales, particularmente frente a la creciente importancia de economías emergentes como China.

El crecimiento de la globalización ha permitido a las economías emergentes integrarse en la cadena de fabricación de manera más rápida y profunda que en el pasado. El fuerte crecimiento de la fabricación del sudeste asiático y China, en particular, está estrechamente relacionado con la creciente importancia de globalización de las cadenas de suministro. Mientras que antes los países tenían que desarrollar una base industrial sólida y construir cadenas de valor completas, ahora pueden intentar unirse a una cadena de valor global especializándose en actividades específicas y comenzar a exportar más rápidamente y a un costo menor (OECD, 2013). Como resultado, las economías emergentes se han convertido en actores importantes en el Manufacturing mundial. China se ha convertido en el mayor fabricante del mundo y representó casi una cuarta parte del valor añadido de la fabricación mundial en 2013. Asia y América Latina representan la mayor parte de la fabricación de las economías emergentes, pero el crecimiento en Asia ha sido de cuatro a cinco veces más rápido que el de América. El peso en cuanto a volumen de los países occidentales en la fabricación mundial ha disminuido constantemente durante las últimas décadas; Las economías de la OCDE representaron el 55% del valor añadido mundial de fabricación en 2013 en comparación con el 83% en 1990. Esta tendencia a la disminución parece haberse frenado a raíz de la crisis de 2008, como se explicará más adelante, aspecto que se interpreta como un indicador de la creciente importancia que los gobiernos han otorgado a reactivar las actividades de fabricación en las economías occidentales (OECD, 2015). Más allá de ese punto, el consumo se desplaza hacia los servicios, la contratación de servicios supera la creación de empleos en la fabricación y la participación de la fabricación en el PIB comienza a caer (Manyika et al., 2012). El empleo sigue un patrón similar, como ejemplo cabe señalar que la participación del Manufacturing en el empleo en los Estados Unidos disminuyó del 25 por

## 2. Revisión Bibliográfica

ciento en 1950 al 9 por ciento en 2008. En Alemania, los empleos en fabricación cayeron del 35 por ciento en 1970 al 18 por ciento en 2008. Y en Korea del Sur, pasó del 28 por ciento del empleo en 1989 al 17 por ciento en 2008. Mientras tanto, las economías emergentes están relativamente menos orientadas hacia los servicios, mostrando una participación cada vez mayor en la fabricación.

El debate sobre la necesidad de la reindustrialización se abrió especialmente a partir de la crisis de 2008, ya que la fabricación se considera el motor del crecimiento económico debido a su contribución al rápido progreso técnico y económico. En consecuencia, la desindustrialización de las economías occidentales se percibe como un factor negativo para el crecimiento y la prosperidad de la zona. El mensaje general transmite que la fabricación continúa desempeñando un papel importante y central en las economías nacionales, debido a sus contribuciones directas e indirectas. La OCDE (OECD, 2015) agrupa estas contribuciones en tres áreas: motor de crecimiento de la productividad, fuente principal de I+D e innovación y aglutinador de la mayor parte de las transacciones comerciales internacionales. Y también desempeña un papel fundamental de cara a abordar los nuevos desafíos sociales, como la reducción del consumo de energía y materias primas y la limitación de las emisiones de gases contaminantes.

Entre estos argumentos para sustentar la importancia del Manufacturing, cabe destacar, por su relevancia para esta tesis, el relacionado con la I+D+i. Los estudios indican que la mayoría de las inversiones en I+D (60% o más del I+D empresarial en el entorno de la OCDE) se siguen realizando en el campo de la fabricación (OECD, 2015). Este porcentaje es incluso mayor ya que hay actividades de I+D que están oficialmente catalogadas en el sector servicios y que son traccionadas o subcontratadas por el sector de la fabricación (Lopez-Bassols y Millot, 2013). Además, debido a la existencia de efectos indirectos, el I+D+i en fabricación potencia indirectamente las actividades de innovación en otros sectores. La literatura sugiere que los vínculos entre diferentes sectores industriales, a través de vínculos en la cadena de valor, y también de la cooperación tecnológica, facilitan la transferencia de estos efectos. La fabricación tiene vínculos en toda la economía, ya que proporciona productos y servicios a otros sectores de la economía.

En todas las economías occidentales esta tendencia a la reindustrialización se ha visto acrecentada con el avance de los países en desarrollo y con la crisis iniciada en 2008. La crisis, fundamentalmente financiera, ha revivido nuevamente el debate sobre la fabricación, ya que algunas de las economías occidentales con un fuerte sector de servicios financieros se vieron gravemente afectadas por la crisis, mientras que otros países con sectores manufactureros fuertes e internacionalizados experimentaron impactos más limitados de la crisis. Algunos autores interpretan esta situación como la evidencia de la importancia que tiene para las economías nacionales la capacidad de producir bienes físicos, si bien también hay ejemplos de países con una gran proporción de fabricación en la economía que, sin embargo, tuvieron un mal desempeño en términos económicos (OECD, 2015).

## 2. Revisión Bibliográfica

Es una evidencia que, a raíz de la crisis, países como Estados Unidos y Reino Unido, que a finales del siglo pasado hicieron una apuesta por una economía basada en los servicios, desplazando la capacidad productiva hacia los países en desarrollo, en particular hacia Asia, a partir de la crisis han retomado estrategias claras de reindustrialización y, especialmente, potenciación del Manufacturing, como demuestran sus Planes “*A national strategic plan for Advanced Manufacturing*” (Executive Office of the Council, 2012) y “*A landscape for the future of high value Manufacturing in the UK*” (Technology Strategy Board, 2012). A nivel de la Europa continental, si bien el Manufacturing mantuvo una posición más estable, también ha recibido en los últimos años un refuerzo en cuanto a las políticas tanto de la Comisión Europea como de los países y regiones miembros.

Así, la Comisión Europea en diversos estudios (EC, 2010) e iniciativas (FoF, 2012) defiende la posición y la importancia del desarrollo futuro del Manufacturing europeo. Esta defensa se basa tanto en el volumen de negocio y empleo que supone el sector, como en su papel como generador de innovación, que se traduce en productos y servicios de alto valor competitivo y, por tanto, en retorno económico para Europa.

Así mismo, considera el papel clave del Manufacturing en la consecución de los Grandes Retos Sociales (FoF, 2012), formulados en términos de:

1. Empleo: el 75% de las personas entre 20 y 64 años de edad.
2. I + D / innovación: el 3% del PIB de la UE (suma de público y privado) invertido en I + D / innovación).
3. Cambio climático: reducción de emisiones de gases de efecto invernadero 20%, o incluso 30%, respecto a 1990. 20% de la energía procedente de fuentes renovables; Incremento del 20% en eficiencia energética.
4. Educación: reducir las tasas de abandono escolar por debajo del 10%; al menos el 40% de los estudiantes de 30 a 34 años que completen la educación de tercer ciclo.
5. Pobreza / exclusión social: al menos 20 millones de personas menos en situación de pobreza o de exclusión social.

Para que las industrias europeas tengan un impacto significativo en la consecución de estos grandes retos, la CE (European Commission, 2010) marca unos objetivos para el propio sector del Manufacturing:

1. Empleo: mantener y crear nuevos puestos de trabajo en el sector, revirtiendo la tendencia de disminución de empleos sufrida en la crisis, volviendo al nivel de 2007.
2. Valor añadido: potenciar el valor añadido de los procesos y productos.
3. Impacto ambiental:
  - a. Reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en las actividades de fabricación.



## 2. Revisión Bibliográfica

- b. Reducir el consumo de energía en las actividades de fabricación.
  - c. Reducir la generación de residuos en las actividades de fabricación.
  - d. Reducir el consumo de materia prima.
  - e. Promover la fabricación de eco-productos y tecnologías ecológicas.
4. Impacto social: mejorar el atractivo de los empleos en la industria de fabricación.
5. Investigación y desarrollo: aumentar el gasto en I + D de las empresas.
6. Innovación: incrementar tanto el volumen de las inversiones en innovación como el número de empresas estratégicamente involucradas en actividades de innovación.
7. Educación: Garantizar a graduados y doctores de ingeniería de fabricación el empleo y aumentar las oportunidades de empleo para técnicos.
8. Emprendimiento: fomentar la creación de empresas de base tecnológica en temáticas de fabricación de productos innovadores.

Finalmente, la Comisión Europea (European Commission, 2010) subraya el papel de la tecnología como el proveedor final de soluciones para afrontar el reto de aumentar el crecimiento económico y la creación de empleo en Europa. Marca como elemento clave el invertir en tecnologías diferenciadoras que permitan que ideas innovadoras se conviertan en nuevos productos y servicios que creen crecimiento, puestos de trabajo de alto valor añadido y ayuden a afrontar los desafíos sociales europeos y globales.

En definitiva, la creación y el crecimiento del valor añadido y el empleo en fabricación está cada vez más vinculado a la innovación y al conocimiento. Esto es cierto tanto para los sectores de alta como de baja intensidad tecnológica, ya que la innovación permite a las empresas de fabricación competir en otros aspectos más allá del coste. En términos generales, la acumulación de activos intangibles (basados en el conocimiento), y competencias económicas, las inversiones en valor de marca, diseño, capital organizacional, modelos comerciales, etc. permiten a los fabricantes de los países occidentales, que operan en entornos de altos costes, competir a escala global (OECD, 2013c).

### **2.5.2 El subsector de Máquina-Herramienta**

Dentro del sector global del Manufacturing la Máquina-Herramienta tiene un lugar estratégico ya que permite la producción de todos los demás equipos industriales y productos desarrollados por ellos, estando en el origen de prácticamente cualquier proceso de fabricación. Así, la mayoría de los objetos que uno puede ver en su entorno, desde coches a aviones, desde turbinas eólicas a satélites, y desde relojes hasta PCs y teléfonos móviles se hacen gracias a las máquinas-herramienta (CECIMO, 2011).

La industria europea representa el 40% de la producción mundial de Máquina-Herramienta. Una de las principales características del sector de la máquina herramienta es su

## 2. Revisión Bibliográfica

heterogeneidad en términos de tamaño de las empresas, así como del tipo de máquinas herramienta y sus aplicaciones y clientes. El tamaño de la empresa en el sector varía desde pequeñas empresas que emplean a unas pocas personas y fabrican algunas unidades por año, hasta grandes empresas con miles de empleados que fabrican cientos de máquinas por año. La empresa europea promedio de máquinas herramienta es una PYME, de hecho, el 80% de las empresas europeas lo son (CECIMO, 2017). El número promedio de empleados por empresa en 2017 era de 106 (CECIMO, 2019). En cuanto a la diversidad en la tipología de máquinas y aplicaciones, la personalización es un factor intrínseco al sector (CECIMO, 2019). Raramente se encuentran dos máquinas herramientas idénticas en el mercado. La variedad de sectores cliente hace que los requisitos sean muy diferentes según la aplicación. Como resultado, las máquinas herramienta rara vez se producen en serie y, en la mayoría de las situaciones, se necesitan modificaciones en sus diseños básicos para cumplir con los requisitos específicos de cada cliente y aplicación. Esto también conlleva que el fabricante de la máquina herramienta ofrezca una amplia gama de servicios al cliente, incluyendo ingeniería de aplicaciones, mantenimiento, reparación y formación y capacitación de los operarios. Hoy en día, los fabricantes europeos de máquinas herramienta ofrecen cada vez más soluciones completas de producción (las llamadas "llave en mano") a sus clientes en lugar de máquinas individuales.

Otra característica del sector es su orientación a la exportación. A pesar de que la mayoría de las empresas europeas de Máquina-Herramienta son PYMEs, el 77% de la producción se exporta, y alrededor de la mitad se exporta fuera de Europa, principalmente a China y Estados Unidos

Este es un sector facilitador clave, intensivo en términos de conocimiento y tecnología, con una fuerte orientación a la exportación y una red internacional de proveedores. La industria europea de Máquina-Herramienta provee a los usuarios finales de sectores industriales estratégicos como el aeroespacial, automoción, ferrocarril, y generación y transformación de energía, con equipos y soluciones de producción altamente personalizados, sofisticados y eficientes. Este valor proporcionado se basa en la alta calidad, el rendimiento, la precisión, la productividad y la capacidad de resolver los problemas del cliente (CECIMO, 2011). Más aún, el comportamiento de las máquinas y las instalaciones de fabricación tiene un impacto significativo en la competitividad de los procesos de fabricación en los que se utilizan (Kamp et al., 2017) y en sus tasas de productividad. Por lo tanto, se puede afirmar que un sector de maquinaria de fabricación avanzada es fundamental para la competitividad general, tanto para los diversos sectores que utilizan máquinas herramientas como para el propio sector de Máquina-Herramienta. Esto implica que las empresas de Máquina-Herramienta deben estar a la vanguardia a la hora de implementar tecnologías de fabricación avanzada, ya que presuponen una puerta de entrada para mejorar la competitividad y la productividad de quienes compran sus productos (Kamp et al., 2017).

Junto con los problemas que enfrentan las PYMEs en general, principalmente una débil

## 2. Revisión Bibliográfica

capacidad financiera para soportar la innovación continua y el abordaje de nuevos mercados, las empresas de Máquina-Herramienta también se enfrentan a desafíos adicionales dentro de su panorama competitivo, los principales son el poder de negociación de los grandes proveedores y clientes y los cada vez más competitivos competidores de Asia. Por ello, una cuestión estratégica clave adoptada por las empresas europeas ha sido huir de la competencia basada en el precio, invirtiendo en nuevos productos, tecnologías y servicios (Biege et al., 2009; CECIMO, 2011; Kamp et al., 2017). Así mismo, la creciente tendencia hacia la servitización también es un eje de desarrollo del sector de la Máquina-Herramienta (CECIMO, 2017; Macaulay et al., 2015).

Históricamente, el sector de la Máquina-Herramienta ha sido considerado en un nivel medio-alto de desarrollo tecnológico e innovación, tanto por sus datos cuantitativos (inversión realizada y empleos dedicados en I+D), como por la generación de productos y servicios de alto valor añadido. Y, como proveedor clave del sector de Manufacturing, los retos que se le plantean al sub-sector de Máquina-Herramienta mantienen o incrementan la apuesta por la tecnología como elemento motor del sector.

Los retos del Manufacturing europeo, que, como se ha descrito en el apartado anterior, pasan inequívocamente por la apuesta por el valor añadido, la innovación y el conocimiento como fundamentos de la competitividad, requieren de un sector de Máquina-Herramienta capaz de ofrecer productos que faciliten esos objetivos. Más aún cuando la digitalización y el paradigma Industry 4.0 se muestran como ejes vertebradores de la estrategia de competitividad de la fabricación. En este entorno, las empresas de Máquina-Herramienta desempeñan un papel doble: como usuarios, adoptando e integrando las nuevas tecnologías, desarrollando sistemas de producción altamente eficientes, productivos, y flexibles (Weyer et al., 2015), así como asumiendo el papel de proveedores de tecnología 4.0 al llevar a cabo modelos de negocio innovadores (Müller et al., 2018), trasladados a sus clientes.

En este escenario, los retos que la propia CECIMO marca para el próximo período, se recogen en el informe de posicionamiento recientemente publicado (CECIMO, 2019, 2020) y entre los que afectan directamente a la actuación de sus empresas cabe destacar:

1. Salvaguardar la soberanía tecnológica de la Unión Europea, con políticas, estrategias e instrumentos que apoyen el desarrollo de las tecnologías disruptivas clave (fabricación aditiva, inteligencia artificial, robótica, blockchain, plataformas IoT y 5G; 2).
2. Incrementar y adecuar la cualificación de los trabajadores de la Unión Europea, claves para la competitividad y necesarios frente al cambio tecnológico, en particular en las tecnologías digitales.
3. La sostenibilidad en la economía circular. A partir del desarrollo de productos y servicios que operen bajo los principios de éxito económico, igualdad, respeto y responsabilidad, incluyendo las dimensiones de la sociedad, la ecología y la economía.

### 2.5.3 El sector del Manufacturing en Euskadi

Si se analiza la realidad del tejido vasco del Manufacturing y la Máquina-Herramienta, puede decirse que presenta una situación, unas perspectivas y unas directrices muy similares a las de Europa. Desde el punto de vista de la posición del sector, los datos que presenta (peso en el PIB, valor añadido, productividad, evolución durante la crisis, porcentaje de exportación) son muy similares a los de los países Europeos más avanzados, situándose entre la media de ellos y el valor más elevado, que en prácticamente todos los parámetros, representa Alemania (Arancegui y Sabalza, 2016; EUSTAT, 2020). Concretamente, en 2018 el Manufacturing representaba el 21% del PIB y el 17% del empleo total en Euskadi (SPRI, 2020). Así mismo, según las mismas fuentes, el Manufacturing supone el 86% del Valor Agregado Bruto (VAB) de toda la actividad industrial.

En este contexto, la Estrategia de Fabricación Avanzada 2020 desplegada por el Gobierno Vasco (GV-EJ, 2014) marca como objetivo estratégico principal “ayudar a avanzar a las empresas vascas hacia actividades de fabricación más intensivas en conocimiento y de mayor valor añadido”. En este marco, el sector del Manufacturing (bajo diferentes denominaciones estratégicas: Fabricación Avanzada, Fabricación de Alto Valor Añadido y Basque Industry 4.0 desde 2017) ha sido identificado como sector estratégico dentro de la Estrategia de Especialización Inteligente (RIS3) de Euskadi (EUSKADI-RIS3, 2014). Tal como se recoge en el “Plan de Industrialización 2017-2020” (Departamento de Desarrollo Económico e Infraestructuras, 2017), el Gobierno Vasco considera que la industria merece y requiere un impulso específico, por su alto impacto en la riqueza, el empleo, el desarrollo tecnológico y el desarrollo de otros sectores; y lo requiere, por sus necesidades particulares respecto a otras actividades (en cuanto a globalización, inversión en bienes tangibles y tecnología, servicios logísticos, cualificación profesional). El Gobierno considera que, aún con el crecimiento de los servicios, la industria seguirá siendo el motor de la economía vasca, clave para consolidar la competitividad y sostenimiento de la economía vasca. Y, tal como se ha indicado anteriormente, el Manufacturing supone el 86% del VAB de toda la industria vasca (SPRI, 2020).

Ahondando un poco más en la realidad de la industria vasca en comparación con Europa y su referente, Alemania, pueden señalarse algunas similitudes y diferencias significativas en aspectos importantes asociados al objeto de esta tesis doctoral:

La principal similitud se asocia a la estrategia de desarrollo industrial y, sobre todo, tecnológico. En este sentido, la política tecnológica vasca se sustenta en un papel significativo de los centros tecnológicos, en la línea de la relevancia de los institutos Fraunhofer alemanes, con un claro objetivo de asegurar la transmisión del conocimiento y la tecnología al mercado, funcionando como captadores y desarrolladores de conocimiento en colaboración con las universidades y como transformadores del conocimiento en colaboración con las empresas. La creación en 2019 del Basque Research and Technology Alliance (BRTA) “para atender a los retos industriales de Euskadi y competir con las grandes corporaciones líderes internacionales

## 2. Revisión Bibliográfica

en investigación y desarrollo de tecnología. Esta gran alianza constituirá la punta de lanza de la investigación vasca en Europa y el resto del mundo” («BRTA») es la muestra más clara de este posicionamiento por parte del Gobierno Vasco y de la importancia que la red de Centros Tecnológicos, ahora agrupada en el BRTA, recibe, como actor fundamental para el desarrollo de la industria y la economía vascas.

En cuanto a las diferencias, además de la evidente derivada de la dimensión, es mucho más determinante de cara al papel innovador y tractor de la industria la tipología de empresas que configuran el tejido industrial vasco (Arancegui y Sabalza, 2016). La gran diferencia reside en que Alemania cuenta con empresas líderes con producto propio (además de su cadena de proveedores de proceso) mientras que en Euskadi son pocas las empresas con producto propio entre los líderes de los sectores industriales tractores, siendo en general centros de producción (de altísimo nivel) de empresas internacionales. La Máquina-Herramienta es, probablemente, el único sector en el que el grueso de empresas dispone de la cadena completa de desarrollo de producto. Quizá por ello es también considerado como uno de los sectores más innovadores del país y también eso le permite gozar de un destacado posicionamiento internacional.

Este aspecto se manifiesta también en que mientras Alemania se sitúa entre los países líderes en la integración de nuevas tecnologías como las nanotecnologías, biotecnologías, nuevos materiales, fotónica, etc...siguiendo la estrategia marcada por Europa que las señala como tecnologías facilitadoras clave para el Manufacturing del futuro, Euskadi, a pesar de la gran apuesta realizada por el Gobierno en estos campos, que se ha traducido en el desarrollo de notables capacidades científico-tecnológicas, no ha conseguido trasladar este conocimiento a la sociedad, principalmente por no disponer de un tejido industrial preparado para ello.

En este sentido, la estrategia de digitalización, bajo el epígrafe de “Basque Industry 4.0”, ha sido adoptada por el Gobierno Vasco como herramienta articuladora del desarrollo de la industria vasca en el próximo período (Departamento de Desarrollo Económico e Infraestructuras, 2017). Este “Plan de Industrialización 2017-2020” recoge como objetivo principal “generar condiciones para reforzar el ecosistema industrial vasco, concretar nuestro compromiso con la industria como eje central de actuación en materia económica, poner a disposición de nuestras empresas instrumentos de apoyo a la competitividad, y establecer canales estructurados para facilitar la interacción público-privada”. Y en lo que respecta a la prioridad de fabricación avanzada se recoge una apuesta por la investigación orientada a incorporar inteligencia en medios y sistemas de producción, aprovechar capacidades y tecnologías emergentes en nuevos productos y procesos, la eficiencia y sostenibilidad de los recursos empleados y la integración de servicios de alto valor añadido.

Entre los mecanismos y herramientas estratégicos activados a partir de esta iniciativa estratégica, cabe destacar la creación del Basque Digital Innovation Hub (BDIH) («Basque Digital Innovation Hub - Basque industry») como una herramienta para acercar las capacidades tecnológicas y de conocimiento disponibles entre los agentes de investigación a las empresas,

en particular a las PYMEs. El Gobierno Vasco refuerza, de esta forma, la importancia de establecer mecanismos de acercamiento del conocimiento a las empresas, buscando facilitar y agilizar la adopción de las nuevas tecnologías por parte del tejido industrial.

## 2.6 Conclusiones del Análisis Bibliográfico y relevancia de la tesis

A continuación se recogen las conclusiones del capítulo y el gap tecnológico identificado que permite definir la relevancia de la tesis.

### 2.6.1 Resumen y conclusiones del Análisis Bibliográfico

El análisis bibliográfico se ha estructurado tratando de abarcar trabajos desarrollados en las áreas de investigación que conforman o tienen influencia en el escenario en el que se enmarca la tesis doctoral. Recuperado el esquema presentado en la introducción del capítulo (figura 2), la estrategia de búsqueda y análisis de información de relevancia ha tenido dos grandes líneas objetivo: por un lado la identificación de los aspectos más relevantes observados en la bibliografía sobre cada una de las áreas en las que se ha estructurado: proceso de gestión de la tecnología, subproceso de selección de tecnologías, métodos para la selección, modelos de colaboración agente tecnológico-empresa, capacidad de absorción de las empresas y, finalmente, escenario del Manufacturing / Máquina-Herramienta. Por otro lado, en todos los apartados se han tratado de identificar las referencias a los centros tecnológicos, como destinatario nuclear de la investigación desarrollada en esta tesis.

El análisis de estos elementos de relevancia permitirá identificar la idoneidad del planteamiento de este trabajo de investigación y también el espacio de novedad y relevancia que permite configurar la propuesta de tesis doctoral.

En del escenario de la I+D+i los centros tecnológicos, dentro de la acepción más global internacional, *Research and Technology Organizations* (RTOs), tienen un papel clave, por su posición central en la cadena de desarrollo del conocimiento y la tecnología, que le sitúa en una ubicación en la que deben ser ejes de creación, desarrollo y transmisión de la tecnología, a través de su propio desarrollo y de una efectiva colaboración con las universidades y las empresas (Giannopoulou, 2016; Prager, 2011; Rincón-Díaz y Albors-Garrigós, 2013). La propia EARTO (*European Association of Research and Innovation Organisations*) define a los centros tecnológicos como proveedores de tecnología e innovación para las empresas y gobiernos, manteniendo una parte importante de su actividad integrada en la ciencia básica, en cooperación con la universidad (EARTO). Esta posición en la cadena de desarrollo del conocimiento y la tecnología anima a los centros tecnológicos a adoptar estrategias de desarrollo que, necesariamente, deben tener en cuenta tanto la vertiente de la generación de conocimiento (I) como la transferencia y explotación comercial de los resultados (i), además de su actividad nuclear de desarrollo tecnológico (D) (EARTO; Giannopoulou, 2016).

## 2. Revisión Bibliográfica

La gestión de la tecnología, actividad nuclear de los centros tecnológicos, se estructura, según el modelo más ampliamente aceptado, formulado por Gregory (1995), en cinco actividades principales: identificación, selección, adquisición, explotación y protección, con algunas variantes propuestas por otros autores, que las adaptan a seis (Cetindamar et al., 2009; Rush et al., 2007). Sin reducir importancia a ninguna de las fases del proceso, en el contexto cambiante y dinámico de la economía actual, la selección de las tecnologías a adquirir y desarrollar se está volviendo cada vez más compleja debido a la creciente complejidad de las tecnologías, la convergencia de tecnologías, la creciente oferta de opciones tecnológicas y la rápida difusión de las tecnologías (Berry y Taggart, 1994; Lei, 2000; Steensma y Fairbank, 1999). Por otra parte, la selección de la tecnología debe tener en cuenta el contexto empresarial en que se lleva a cabo, incluyendo capacidades, riesgos y oportunidades, empresariales y tecnológicos (Matthews, 1992), con la visión de desarrollo de producto y negocio (Shehabuddeen et al., 2006). En un centro tecnológico, por su misión de transferencia y visualización de mercado, la selección de las tecnologías no debe, por tanto, realizarse únicamente desde una perspectiva de oportunidad científico-tecnológica, sino que debe atender también a aspectos de explotación, clientes y mercado.

La importancia del subproceso de selección de tecnologías ha promovido el desarrollo de varias familias de métodos para abordarlo, con referencias ampliamente establecidas en métodos como los incluidos en las familias de análisis de escenarios, análisis de impacto o roadmapping. Entre estas familias, los métodos de toma de decisión multicriterio (MCDM) se presentan muy adecuados para abordar el problema de evaluación y selección de tecnologías ya que su principal característica diferenciadora reside en que permiten la incorporación de múltiples criterios no proporcionales y de naturaleza heterogénea, cualitativos y cuantitativos, con diferentes unidades de medida entre ellos, y la presencia de alternativas muy diferentes (Kolios et al., 2016; Mohindru, 2011). La selección de tecnologías, atendiendo a la visión global del negocio (conocimiento, estrategia, capacidad, mercado) necesaria para evaluar correctamente la adecuación de una tecnología es, indudablemente, un problema complejo en el que intervienen factores heterogéneos. El potencial de estos métodos se refuerza en el hecho de son utilizados también para complementar a métodos de otras familias (Banuls y Salmeron, 2007; Chau y Parkan, 1995).

Entre los métodos multicriterio también se han desarrollado diferentes familias, que a su vez han sido objeto de actualizaciones. Los métodos más utilizados y referenciados han sido recogidos en el análisis bibliográfico, incluyendo estudios comparativos entre diversos métodos y dedicando un apartado particular a su aplicación en la evaluación, clasificación y selección de tecnologías. De los trabajos analizados se desprende que ninguno de los métodos presenta ventajas o deficiencias respecto a los demás, sino que se aprecian matices relacionados con los campos de aplicación o casos de estudio concretos sobre los que se llevan a cabo los estudios comparativos. En este contexto, el método MIVES (Viñolas et al., 2009) se presenta como un candidato adecuado para esta tesis, porque aúna características de fiabilidad, sustentadas en el hecho de que está configurado sobre herramientas de referencia con Delphi

## 2. Revisión Bibliográfica

y AHP, con características novedosas atractivas, como el uso de unas funciones de valor personalizables para la cuantificación de los indicadores del último nivel del árbol jerárquico, que permiten adaptar la evaluación con más precisión al caso concreto.

Con respecto a la aplicación de los métodos multicriterio para la selección de tecnologías, los trabajos analizados reflejan la importancia de recoger todos los factores que configuran el contexto de selección. Así, aspectos relacionados con la estrategia, las capacidades internas, la operativa organizacional, las colaboraciones, el acceso al mercado, el acceso a la tecnología, son factores que deben tenerse en cuenta en la evaluación de la adecuación y adaptabilidad de una tecnología candidata a ser adoptada, adicionalmente a las características de la propia tecnología, o tecnologías evaluadas.

En este apartado, el análisis bibliográfico identifica una significativa mayoría de trabajos relacionados con la selección de tecnologías o la evaluación de alternativas en diferentes campos de la gestión por parte de empresas, con algunos pocos trabajos relacionados con la toma de decisión sobre tecnologías e inversiones de futuro por parte del Administración Pública y aún un menor número de trabajos relacionados con la toma de decisiones en agentes científico-tecnológicos.

Entre los aspectos a considerar en el escenario de actuación de un centro tecnológico cobra importancia su acceso al mercado y, como canal natural para ello, su acceso a las empresas, potenciales clientes y explotadores de las tecnologías desarrolladas por el centro. La colaboración entre empresas y agentes de investigación es un área de investigación creciente, fundamentalmente orientada a las relaciones entre la universidad y la empresa, como se ha podido identificar en el análisis de la bibliografía, pero con una mayoría de aspectos, criterios y factores aplicables al caso de otros agentes de investigación, en particular centros tecnológicos (EARTO; Giannopoulou, 2016). La bibliografía muestra la creciente importancia otorgada al establecimiento de mecanismos de colaboración entre la ciencia y la empresa. La creciente rapidez con la que se producen los cambios tecnológicos, la reducción en los plazos de los ciclos de vida del producto y una intensa y creciente competencia global que han transformado radicalmente el entorno competitivo actual para la mayoría de las empresas es la principal motivación para que las empresas busquen una colaboración más intensa y efectiva con los agentes de investigación (Bettis y Hitt, 1995; Wright et al., 2008). Por parte de los agentes de investigación, los factores de competencia creciente, el crecimiento de nuevos conocimientos, los costes de la investigación y la complejidad de las fuentes de financiación inducen la búsqueda de un canal estable de sostenibilidad a partir de la colaboración con las empresas, que les permita mantenerse a la vanguardia tecnológica con una mayor estabilidad económica (Hagen, 2002; Siegel y Wright, 2011).

La bibliografía sobre colaboración entre empresas y agentes de investigación hace referencia a los tipos de colaboración, que van evolucionando de los puros servicios tecnológicos y colaboraciones puntuales en proyectos (Santoro y Betts, 2002) hacia mecanismos estables, con una visión más global del negocio, integrando aspectos de intercambio y transferencia de



## 2. Revisión Bibliográfica

investigadores y conocimientos, formación y actualización de capacidades, y mecanismos coordinados de explotación de los conocimientos y los desarrollos tecnológicos (Seppo y Lilles, 2012). Los trabajos de investigación analizados abordan diferentes aspectos de la colaboración, desde la motivación (Dutrenit et al., 2010; Perkmann et al., 2013) y los factores clave de éxito (Mora-Valentin et al., 2004; Kauppila et al., 2015; Rybnicek y Königsgruber, 2018), hasta la correcta selección de los socios (Kang et al., 2019; Xu et al., 2020), la configuración de los aspectos fundamentales a considerar en los acuerdos (Salter et al., 2012; Aranguren et al., 2013; Ivascu et al., 2016; Gámez-Pérez et al., 2020) y los diferentes métodos y herramientas para evaluar el comportamiento de la colaboración (Perkmann et al., 2011; Thune, 2011; Piva y Rossi-Lamastra, 2013) y el impacto alcanzado (Meroño-Cerdán et al., 2008; Siegel et al., 2003, McConnell et al., 2019).

La bibliografía analizada indica que la colaboración debe tener en cuenta factores muy diversos para asegurar su éxito y sostenibilidad, relacionados con las sinergias entre las organizaciones (Mora-Valentin et al., 2004; Plewa y Quester, 2007; Thune, 2011), la adecuación de las capacidades técnicas y humanas, la alineación con las estrategias (Barnes et al., 2002; Rohrbeck y Arnold, 2006; Nielsen et al., 2013; Plewa et al., 2013), la experiencia previa compartida y el conocimiento mutuo (Bruneel et al., 2010; Butcher y Jeffrey, 2007). La sistemática observación de los factores clave y la medición y objetivización del cumplimiento de las perspectivas y objetivos de la colaboración son también aspectos clave para la estabilidad de ésta (Neely, y Walsh, 2011; Plewa et al., 2013; Rohrbeck y Arnold, 2006).

Los agentes tecnológicos deben considerar estos aspectos en el planteamiento de sus estrategias de colaboración con empresas, y como un factor clave en el desarrollo de su estrategia tecnológica, con el fin de garantizar el acceso al mercado de los conocimientos y tecnologías incluidas en su cartera de especialización.

La capacidad de las empresas para asimilar, desarrollar y convertir la tecnología en negocio, en forma de productos y/o servicios es un factor fundamental que se ha identificado en los apartados relacionados con la gestión de la tecnología, la evaluación y selección de la misma y también como factor clave para el éxito de la colaboración entre agentes de investigación y empresas. Esa capacidad, identificada en las últimas décadas bajo el término capacidad de absorción (Cohen y Levinthal, 1989), y definida por estos autores como la habilidad de la empresa para identificar, asimilar y explotar el conocimiento del entorno es un concepto ampliamente utilizado en una gran variedad de campos de la investigación y la estrategia tales como la formulación de estrategias (Flor et al., 2011), la cooperación entre organizaciones (Lane y Lubatkin, 1998; De Jong y Freel, 2010), la gestión de la innovación (Cohen y Levinthal, 1989; 1990; Nieto y Quevedo, 2005; Benson y Ziedonis, 2009), el aprendizaje organizativo (Lyles y Salk, 1996; Reagans y McEvily, 2003; Schill et al., 2012) o la gestión del conocimiento (Grant, 1996; Foss y Pedersen, 2004; Malhorta et al., 2005).

Los trabajos de investigación estructuran la capacidad de absorción como un proceso que contempla tres fases básicas (Cohen y Levinthal, 1989; Aguilar-Olavés et al., 2014;

## 2. Revisión Bibliográfica

Lichtenthaler, 2016): la exploración e identificación de las tecnologías, la asimilación, desarrollo e implementación en las rutinas de la organización, y la explotación en el mercado. Otros investigadores introducen una ligera modificación, añadiendo una cuarta fase: adquisición, asimilación, transformación y aplicación (Zahra y George, 2000, 2002; Camisón y Forés, 2014). El concepto cubre, por tanto, desde la identificación y selección a la explotación, toda la cadena de desarrollo de la tecnología. Desde la visión de los centros tecnológicos, como proveedores de la tecnología y colaboradores con las empresas para su desarrollo, las capacidades, habilidades y mecanismos recogidos en el concepto capacidad de absorción, tanto por parte del propio centro como de sus clientes potenciales, deben ser considerados en su estrategia tecnológica y, dentro de ella, en el proceso de evaluación y selección de tecnologías, para visualizar las posibilidades de éxito en las fases de transferencia y explotación.

Los factores que caracterizan la capacidad de absorción de una organización han sido objeto de numerosos estudios recogidos en el análisis bibliográfico. Es representativo que coinciden de manera significativa con los factores clave de los modelos de colaboración tecnológica. Es también destacable que muchos autores no los limitan a factores internos de la organización, sino que incluyen factores externos. Así, entre los factores internos se identifican en la bibliografía los conocimientos de la empresa, la estrategia y los mecanismos de toma de decisión, la cultura de innovación y aprendizaje, los sistemas de gestión del conocimiento, la formación y cualificación de los miembros de la organización, el volumen de inversión e intensidad en I+D, la existencia de áreas organizativas dedicadas a las actividades de investigación (Todorova y Durisin, 2007; Mariano y Walter, 2015; Kostopoulos et al., 2011; Roberts et al., 2012; Valentim et al., 2016). Entre los factores externos se incluyen la existencia de oferta tecnológica, las características del conocimiento de otras empresas y agentes del conocimiento, la proximidad cultural y geográfica con la fuente de conocimiento, los canales de relación de la empresa con agentes externos, tanto proveedores de conocimiento como receptores de la tecnología y los productos y servicios derivados (Forés y Camison, 2008; Hurtado-Ayala, 2014).

Los trabajos de investigación analizados otorgan también importancia a la medición y la objetivización del concepto como un aspecto clave para la mejora y resaltan que éste es un área de investigación poco abordada (Camisón y Forés, 2010). Los trabajos que abordan la medición, con criterios cualitativos y cuantitativos (Kostopoulos et al., 2011) hacen uso básicamente de los factores internos y externos que se han identificado como determinantes del concepto Capacidad de Absorción.

Si bien el trabajo de investigación de la presente tesis conceptualmente puede extrapolarse a otros escenarios de aplicación por tratarse de un método para la evaluación y selección de tecnologías, se ha aplicado al sector de la Máquina-Herramienta y el Manufacturing. La focalización en este sector no tiene influencia en la conceptualización del modelo desarrollado, pero sí en la adaptación al mismo, ya que las particularidades del sector se recogen en el proceso de evaluación, en la selección de criterios, la ponderación y valoración de los mismos.

## 2. Revisión Bibliográfica

El sector del Manufacturing ha sido clave para impulsar el crecimiento económico y el aumento del nivel de vida durante casi tres siglos y continúa haciéndolo, tanto en las economías más avanzadas como en las economías en desarrollo (Manyika et al., 2012). Si bien en las últimas décadas del siglo XX, en los países más desarrollados se produjo una variación en la composición estructural de la economía, con una reducción del peso de la fabricación frente a los servicios, especialmente evidenciado en términos de empleo (OECD, 2013), la producción de la industria de fabricación ha seguido creciendo, gracias al gran incremento de la productividad. Así, el valor añadido generado por el Manufacturing ha crecido significativamente en todos los países avanzados desde la década de los noventa. La crisis de 2008 detuvo ese proceso, pero el crecimiento se ha recuperado nuevamente desde entonces (OECD, 2015). La fabricación continúa desempeñando un papel importante y central en la economía, debido a sus contribuciones directas e indirectas. La OCDE (OECD, 2015) agrupa estas contribuciones en tres áreas: motor de crecimiento de la productividad, fuente principal de I+D e innovación y aglutinador de la mayor parte de las transacciones comerciales internacionales.

El sector del Manufacturing es, tractor y proveedor de I+D+i. Los estudios indican que la mayoría de las inversiones en I+D se siguen realizando en el campo de la fabricación (OECD, 2015), con un añadido del I+D+i inducido en otros sectores como el de servicios (Lopez-Bassols y Millot, 2013). En definitiva, la fabricación tiene vínculos en toda la economía, ya que proporciona productos y servicios a otros sectores de la economía. Esta apuesta por el desarrollo y la sostenibilidad basados en el I+D+i se muestra como un factor de éxito, ya que es una evidencia que las industrias intensivas en conocimiento y tecnología están obteniendo mejores índices, incrementando su ventaja competitiva, en contraste con las industrias de baja intensidad tecnológica, que han sufrido importantes pérdidas de empleos en las economías occidentales, particularmente frente a la creciente importancia de economías emergentes (OECD, 2013c).

En este papel de proveedor de tecnología y tractor de la I+D+i, el sector del Manufacturing cuenta con el subsector de Máquina-Herramienta como uno de sus pilares, ya que permite la producción de todos los demás equipos industriales y productos desarrollados por ellos, estando en el origen de casi cualquier proceso de fabricación (CECIMO, 2011), con un impacto significativo en la competitividad de los procesos de fabricación en los que se utilizan (Kamp et al., 2017) y en sus tasas de productividad.

Por tanto, los retos del Manufacturing europeo, que pasan inequívocamente por la apuesta por el valor añadido, la innovación y el conocimiento como fundamentos de la competitividad, requieren de un sector de Máquina-Herramienta capaz de ofrecer productos que faciliten esos objetivos. En este entorno, las empresas de Máquina-Herramienta apuestan por el conocimiento y la tecnología desde una doble perspectiva: como usuarios, adoptando e integrando las nuevas tecnologías, para desarrollar sistemas de producción altamente eficientes, productivos y flexibles (Weyer et al., 2015), y también asumiendo el papel de

## 2. Revisión Bibliográfica

proveedores de tecnología que permiten desarrollar modelos de negocio innovadores (Müller et al., 2018).

La apuesta por la tecnología y el conocimiento en el sector del Manufacturing y la Máquina-Herramienta tiene la misma intensidad en Euskadi, donde todas las iniciativas del Gobierno en los últimos años van explícitamente orientadas a potenciar el sector, fomentando "...avanzar a las empresas vascas hacia actividades de fabricación más intensivas en conocimiento y de mayor valor añadido..." (GV-EJ, 2014).

Dentro de esta apuesta por una industria de fabricación vasca basada en el conocimiento y la I+D+i, orientada al desarrollo de productos de alto valor añadido, la política tecnológica vasca se sustenta en un papel significativo de los Centros Tecnológicos, con un claro objetivo de asegurar la transmisión del conocimiento y la tecnología al mercado, funcionando como captadores y desarrolladores de conocimiento en colaboración con las universidades y como transformadores del conocimiento en colaboración con las empresas. La creación en 2019 del Basque Research and Technology Alliance (BRTA) "para atender a los retos industriales de Euskadi y competir con las grandes corporaciones líderes internacionales en investigación y desarrollo de tecnología. Esta gran alianza constituirá la punta de lanza de la investigación vasca en Europa y el resto del mundo" (BRTA) es la muestra más clara de este posicionamiento por parte del Gobierno Vasco y de la importancia que la red de Centros Tecnológicos, ahora agrupada en el BRTA, recibe, como actor fundamental para el desarrollo de la industria y la economía vascas.

### **2.6.2 Gap Tecnológico, relevancia de la tesis doctoral**

A partir de la revisión y análisis de los trabajos de investigación en las áreas que configuran el escenario de esta tesis doctoral, pueden identificarse los aspectos de novedad y relevancia que dan lugar a la presente tesis:

1. La relevancia de la tecnología, la I+D+i y la gestión de la tecnología como motores del desarrollo económico y social en un entorno cada vez más competitivo y cambiante.
2. El papel central que se les otorga a los centros tecnológicos dentro del escenario de la I+D+i, en su relación con la generación del conocimiento (la universidad) y la explotación comercial del mismo (la empresa).
3. La importancia de disponer de estrategias, métodos y herramientas para la evaluación y selección de las tecnologías a adquirir, desarrollar y transferir al mercado, que permitan desarrollar estrategias tecnológicas, de producto y servicio acertadas y exitosas.
4. La importancia, en particular en la posición de los centros tecnológicos, de llevar a cabo la evaluación y selección de tecnologías desde una visión global, que atienda tanto a las necesidades, características y estrategias del propio centro como a su entorno de actuación y en, particular, a las características, capacidades y estrategias de sus empresas cliente.

## 2. Revisión Bibliográfica

5. La importancia de que la evaluación de las tecnologías tenga, por tanto, en cuenta las capacidades de los clientes y el acceso y relación que el centro mantiene con sus clientes.
6. Entre las múltiples familias de métodos y herramientas para la evaluación y selección de tecnologías, los métodos de decisión multicriterio (MCDM) se muestran como herramientas muy adecuadas, por estar específicamente orientados a tratar problemas de naturaleza compleja con alternativas y factores heterogéneos. El problema de evaluación y selección de tecnologías lo es, ya que en él intervienen factores tecnológicos, humanos, organizativos, económicos, estratégicos.
7. Entre los métodos MCDM, el método MIVES reúne algunas características que lo hacen particularmente atractivo: por un lado, presenta garantías de éxito, por estar sustentado en métodos ampliamente reconocidos (Delphi, AHP), además de presentar referencias de éxito en el sector de la construcción, en el que fue desarrollado. Y, por otro lado, presenta aspectos innovadores, como el uso de funciones de valor personalizables para la valoración de los indicadores del último nivel jerárquico, lo que permite ajustar la personalización del modelo al escenario de aplicación. Y finalmente, presenta la novedad de su aplicación al caso del Manufacturing.
8. El sector del Manufacturing y la Máquina-Herramienta, sobre los que se va a aplicar el modelo a desarrollar, se presentan como escenario idóneo por su apuesta por la I+D+i, el conocimiento y la tecnología para su competitividad y por su relevancia en la economía occidental y, la vasca, en particular.
9. El problema de selección de evaluación y selección de tecnologías se ha trabajado ampliamente en el entorno de investigación para la adquisición de tecnologías concretas por parte de empresas, pero son muy escasos los trabajos ubicados en actividades de I+D. Se han identificado algunos trabajos relacionados con estrategias de la Administración Pública y las Universidades, pero prácticamente ninguno relacionado con centros tecnológicos.

Por tanto, el desarrollo de un modelo que permita a un centro tecnológico llevar a cabo la evaluación y selección de tecnologías, de manera sistemática y objetivada a través de la herramienta MCDM MIVES, y con una visión global, no sólo de las características y capacidades del propio centro, sino también de su contexto (la propia tecnología y las empresas cliente), se considera que contiene la relevancia y novedad que deben caracterizar a una tesis doctoral.

## Capítulo 3

---

### **Objetivos e Hipótesis de Investigación**

## 3 Objetivos e Hipótesis de Investigación

En el capítulo 1 se ha formulado el objetivo global de la tesis doctoral, en los siguientes términos:

*Desarrollar un modelo que permita a un centro tecnológico, evaluar y tomar la decisión de abordar o descartar una(s) nueva(s) tecnología(s), de una manera ágil, atendiendo a los factores clave que caracterizan el escenario de actuación de la tecnología y el propio centro tecnológico.*

Los aspectos clave a tener en cuenta en esa toma de decisión se ubicarán en torno a los siguientes criterios:

- Naturaleza y potencial de la tecnología: madurez y posibilidades de desarrollo futuro, aspectos relacionados con el mercado natural de aplicación de la tecnología, como la dimensión, la estructura, la competencia.
- Encaje y adecuación de la tecnología con el centro tecnológico y sus clientes: capacidades, equipamiento, estrategia.
- Impacto de la tecnología en el propio centro tecnológico y sus clientes: crecimiento, posicionamiento en el sector, sostenibilidad.

Bajo estas premisas, se pretende desarrollar un modelo que cuente entre sus características con una utilización ágil, amigable para su usuario en su configuración y resolución y lo más objetivo y replicable posible. El modelo debe permitir tanto comparar, clasificar y seleccionar entre varias alternativas, como tomar la decisión sobre un único caso, sobre una única tecnología de potencial interés que sea detectada por el centro.

Cumpliendo con estas características, el modelo objetivo debe ser útil para ser aplicado tanto en fases de planificación estratégica del centro tecnológico como en la toma de decisiones puntuales sobre una o varias tecnologías. No se pretende con ello que sea sustitutivo de otras herramientas habitualmente utilizadas en los procesos de Gestión de la Tecnología y la Estrategia, sino que puede complementar otras técnicas y herramientas o combinarse con ellas, proporcionando una información estructurada, cuantificada, visual, clara y fácilmente interpretable.

Adicionalmente a su aplicación en un centro tecnológico, se considera que el modelo podrá ser aplicado también por empresas que dispongan de estructuras de investigación propias (como Unidades de I+D) y de capacidades y estrategias de innovación basadas en la tecnología..

### 3.1.1 Objetivos específicos de la Investigación

El objetivo principal del proyecto se enmarca en uno de los papeles fundamentales que debe cubrir un centro tecnológico: la identificación y selección de nuevas tecnologías que supongan un avance en la Estrategia del propio centro y que aporten a su entorno industrial un impacto

### 3. Objetivos e Hipótesis de Investigación

---

en el negocio y por tanto en sus resultados económicos.

En esta tarea de identificar, seleccionar y desarrollar nuevas tecnologías los centros tecnológicos juegan un papel tractor de la industria, por lo que su responsabilidad en esta tarea es máxima y su desempeño debe ser exquisito. El acierto en la selección de las tecnologías a desarrollar tiene por tanto implicaciones en el desempeño del centro tecnológico, tanto desde la visión interna del propio centro, desde el punto de vista de su capacitación, desarrollo, crecimiento, posicionamiento, generación de conocimiento y relación con la industria, como desde la visión de sus clientes objetivo, en aspectos de desarrollo de producto y negocio.

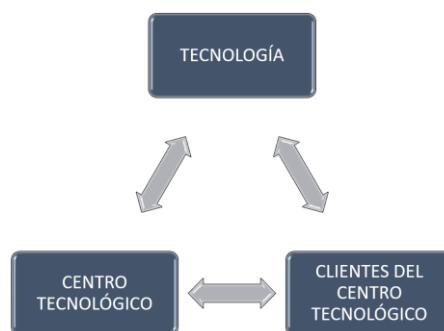
Por el contrario, la apuesta por una tecnología no adecuada o que no genere un impacto significativo supone una ineficiencia de doble carácter para el centro, por la dedicación a una actividad de bajo retorno y por la pérdida de oportunidad asociada a no haber dedicado esa actividad a oportunidades más adecuadas.

Un proceso de selección de la tecnología que tenga en cuenta todos los aspectos implicados en esta selección y objetivice el proceso y la decisión tiene además un claro efecto positivo en el desempeño global del centro, ya que permite orientar y dimensionar correctamente todas las actividades requeridas para el correcto desarrollo de todo el ciclo de vida de esa tecnología.

Por todo ello, el objetivo de esta tesis se focaliza en el desarrollo de un modelo que permita a un centro tecnológico, evaluar y tomar la decisión de abordar o descartar una nueva tecnología, de una manera ágil, y atendiendo a los factores clave que caracterizan el escenario de actuación de la tecnología y el propio centro tecnológico, de forma que se optimice una fase clave del proceso de Desarrollo Tecnológico de un centro tecnológico.

Este objetivo global se soporta en objetivos operativos de mayor detalle. Para entender más correctamente estos objetivos operativos y las hipótesis que las soportan es conveniente visualizar previamente el esquema global que rige el modelo a desarrollar.

Este modelo establece tres elementos clave a relacionar: La propia tecnología a evaluar, el centro tecnológico que quiere adoptarla y desarrollarla y los clientes de ese centro tecnológico, destinatarios finales de la implantación de esa tecnología:



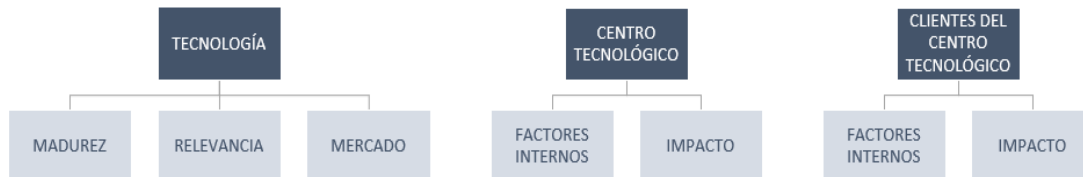
**Figura 9:** esquema global del modelo

Cada uno de esos tres bloques se estructura inicialmente en áreas clave: madurez, relevancia,



### 3. Objetivos e Hipótesis de Investigación

mercado, factores internos del centro tecnológico, impacto en el centro tecnológico, factores internos de los clientes del centro tecnológico, impacto en los clientes del centro tecnológico (figura 10) y cada área se caracteriza por una serie de factores clave. En la metodología MIVES que se presenta más adelante, estos bloques clave se denominan requerimientos, y las áreas y los factores se denominan criterios e indicadores, en función de los niveles que conformen el árbol de decisión. (Viñolas et al., 2009):



**Figura 10:** áreas clave del modelo

Estas áreas y factores clave planteados inicialmente serán analizados y revisados en detalle como parte fundamental del trabajo de investigación. A continuación se detallan los objetivos operativos que soportan el objetivo global:

**Objetivo 1:** Identificar y seleccionar los factores clave que caracterizan las tres áreas clave de la(s) tecnología(s) a evaluar. Las diferentes tecnologías a evaluar, que pueden identificarse en un proceso de Vigilancia Tecnológica o en el proceso habitual de actuación de un centro tecnológico presentan en sí mismas una serie de factores que dan información sobre su potencial, posición, atractivo y limitaciones o barreras. Algunos de estos factores, en cada una de las tres áreas clave, pueden ser:

- Grado de madurez de la tecnología: posición en el ciclo de desarrollo, costes de desarrollo básicos, riesgo tecnológico asociado.
- Relevancia y potencial de la tecnología: originalidad, potencial de extensión (por campos de aplicación y por tecnologías derivadas), patentabilidad que ayude a proteger la tecnología, tecnologías alternativas que puedan debilitar el potencial y la proyección.
- Mercado objetivo: cuál es o son los sectores y mercados a los que se orienta o en los que se está implementando, qué dimensión tienen, qué fragmentación (nichos especializados), barreras naturales que presentan esos mercados, características de los competidores (tecnológicos e industriales).

**Objetivo 2:** Identificar y seleccionar los factores clave que permiten caracterizar y verificar el impacto de la tecnología. Estos serán los factores que nos permitirán evaluar el impacto que puede esperarse de la adopción y desarrollo de la tecnología:

- Impacto científico-tecnológico y de negocio del propio Centro tecnológico.
- Impacto de negocio en sus clientes.

Algunos de estos factores serán cuantificables (volumen de negocio, crecimiento de plantilla, número de publicaciones, ingresos por licencias...) y otros serán cualitativos (acceso a nuevos

### 3. Objetivos e Hipótesis de Investigación

---

mercados, posicionamiento estratégico...).

Objetivo 3: Identificar y seleccionar los factores que permiten evaluar la adecuación de la tecnología al escenario de aplicación. Bajo este objetivo se identificarán y seleccionarán los factores que definen las características propias del centro tecnológico y sus clientes potenciales que tienen influencia en que la adopción y desarrollo de una tecnología sea viable y exitosa o suponga una barrera. Algunos posibles factores que caracterizan al centro y clientes pueden ser:

- Factores internos del centro tecnológico: capacitación del equipo investigador, estructura organizativa y de investigación, estrategia tecnológica y de mercado, equipamiento disponible.
- Factores internos de los clientes objetivo: capacitación de los equipos humanos, organización, estructura, estrategia tecnológica y de mercado, acceso al mercado natural de la tecnología.

Objetivo 4: Definir y desarrollar un modelo que permitan analizar y objetivizar las relaciones entre estos factores, así como su importancia o peso relativo, para poder cuantificar el valor de la tecnología en función de las áreas clave definidas.

- El modelo debe poder establecer una escala o ranking de tecnologías, en una selección entre varias tecnologías, y también categorizar una única tecnología de manera que el resultado del análisis sea la idoneidad de adoptar y desarrollar esa tecnología o bien la decisión de obviarla.

Objetivo 5: Evaluar, verificar y ajustar el comportamiento del modelo a través de su aplicación sobre casos reales:

- Casos de asunción y desarrollo de nuevas tecnologías cuyo resultado en cuanto al éxito (impacto) alcanzado es conocido. Contraste de la evolución real con el resultado obtenido al aplicar el modelo.

### 3.1.2 Hipótesis de Investigación

En este capítulo se detallan las hipótesis que soportan cada uno de los objetivos operativos descritos en el capítulo anterior. En primer lugar, se presentan en una tabla resumen los objetivos y las hipótesis asociadas (tabla 5), y posteriormente se formula cada una de las hipótesis.

**Tabla 5:** Objetivos e hipótesis asociadas

Objetivo	Hipótesis asociadas
Objetivo 1: Identificar y seleccionar los factores clave de la tecnología a estudiar.	Hipótesis 1_1: Una tecnología en un estado de madurez bajo-medio y una relevancia alta presenta el mayor potencial de impacto para un centro tecnológico
	Hipótesis 1_2: Una tecnología con nichos de mercado especializados presenta un mayor potencial de impacto en el centro tecnológico y sus clientes
	Hipótesis 1_3: El protagonismo de empresas competidoras de relevancia limita el potencial de impacto de una tecnología en los clientes
Objetivo 2: Identificar y seleccionar los factores que permiten caracterizar y verificar el impacto de la tecnología	Hipótesis 2_1: El crecimiento empresarial basado en una tecnología tiene una influencia positiva en el impacto en el centro tecnológico, en sostenibilidad, crecimiento y posicionamiento
	Hipótesis 2_2: Costes y tiempos de desarrollo elevados en el desarrollo global (centro tecnológico + clientes) reducen la oportunidad de un impacto positivo en centro y clientes
Objetivo 3: Identificar y seleccionar los factores que permiten evaluar la adecuación de la tecnología al escenario de aplicación.	Hipótesis 3_1: La adecuación de la capacitación, equipamiento y estrategia del centro y los clientes facilitan la adopción de una nueva tecnología y la consecución del impacto esperable en el centro tecnológico y clientes
	Hipótesis 3_2: El conocimiento y mecanismos de acceso al mercado por parte del centro tecnológico proporcionan una mayor viabilidad a la adopción de la tecnología (costes y tiempo de desarrollo)
	Hipótesis 3_3: En el caso de una tecnología con factores propios favorables, y factores internos de los clientes favorables, aunque la capacitación y el equipamiento del centro tecnológico no sean los más adecuados, el encaje de la tecnología con la estrategia del centro tecnológico convierte esa limitación en una oportunidad, permitiendo abrir nuevas líneas de desarrollo y capacitación, y con ello generar un crecimiento
Objetivo 4: Definir y desarrollar un modelo que permitan analizar y objetivar las relaciones entre estos diferentes factores para poder cuantificar el valor de la tecnología en función de esas áreas seleccionadas	Hipótesis 4_1: el método MIVES se muestra adecuado para construir un modelo para la valoración, comparación y selección de tecnologías y también para la decisión sobre una única tecnología.
Objetivo 5: Evaluar, verificar y ajustar el comportamiento del modelo a través de su aplicación sobre casos reales	Hipótesis 5_1: La aplicación del modelo a desarrollar en la simulación de casos reales conocidos permite evaluar la validez del modelo

### 3. Objetivos e Hipótesis de Investigación

#### 3.1.2.1 Hipótesis de apoyo al objetivo 1:

**Objetivo 1:** Identificar y seleccionar los factores clave de la tecnología a estudiar. Las diferentes tecnologías que pueden identificarse en un proceso de Vigilancia Tecnológica o en el proceso habitual de actuación de un centro tecnológico presentan en sí mismas una serie de factores que dan información sobre su potencial, posición, atractivo y limitaciones o barreras.

Uno de los aspectos debatidos profusamente es el carácter de novedad-madurez de la tecnología y las estrategias y decisiones al respecto. La valoración de este aspecto está presente en muchos de los modelos y metodología de análisis y selección. En la literatura relacionada con métodos de selección MCDM la madurez de la tecnología es también recogida ampliamente. Así, Mohanty et al. (2005) seleccionan los criterios de tecnología básica, avanzada e ingenieril, situándolos en ese orden de prioridad. Otros, como Davoudpour et al. (2012) otorgan un peso medio al factor de posición de la tecnología en su ciclo de vida, mientras que otorgan un valor muy alto a los factores de relevancia, en particular al potencial de extensión de la tecnología. La relevancia de la tecnología, formulada como tal o con factores como su potencia de extensión son considerados clave por otros autores como Huang et al (2008) o Ma et al. (2013). La hipótesis defiende el impacto positivo de la combinación de estos dos factores, y se formula en los siguientes términos:

*Hipótesis 1\_1: Una tecnología en un estado de madurez bajo-medio y una relevancia alta presenta un mayor potencial de impacto positivo para un Centro tecnológico*

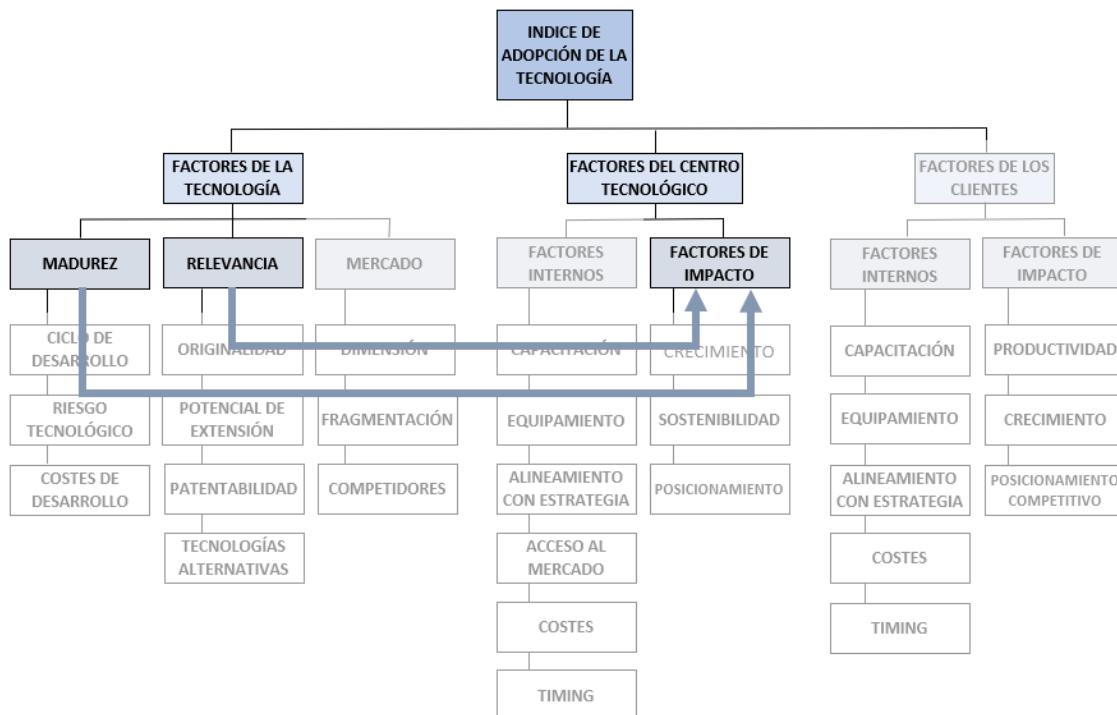


Figura 11 : Hipótesis 1\_1 (1)

<sup>1</sup> Las figuras utilizadas para ilustrar las hipótesis no representan el árbol jerárquico final del modelo, sino la versión preliminar definida en el proyecto de investigación. El desarrollo de la investigación posterior, con el análisis de la literatura y el trabajo del panel de expertos ha conducido a variaciones sustanciales en el árbol.

### 3. Objetivos e Hipótesis de Investigación

Por su parte, la dimensión del mercado potencial es otro de los factores más considerados. Ya desde el modelo de las cinco fuerzas de Porter (2006) se hace referencia a la búsqueda de nichos como elemento de protección frente a los factores de amenaza (competidores, nuevos actores). El roadmap de *Factories of the Future* (2010) también presenta la búsqueda de nichos de mercado y tecnológicos como uno de los factores de competitividad para las empresas europeas, en particular las SMEs (*Small and Medium-Sized Enterprises*).

También en los trabajos relacionados con métodos de selección multicriterio es uno de los factores o criterios valorados. Mientras la mayoría de los autores hacen referencia al tamaño del mercado, otros añaden factores adicionales como la segmentación del mercado (McNamara et al., 2003; Naftaly et al., 2019; Söllner y Rese, 2001) o el reparto entre competidores (Cho y Lee, 2013; Clark, 2011; Kafouros et al., 2020; Mohanty et al., 2005).

Profundizando en esta línea, este trabajo de investigación propone la siguiente hipótesis en la que se defiende el beneficio de un mercado de nicho tanto para el centro tecnológico como para sus clientes.

*Hipótesis 1\_2: Una tecnología con nichos de mercado especializados presenta un mayor potencial de impacto en el centro tecnológico y sus clientes.*

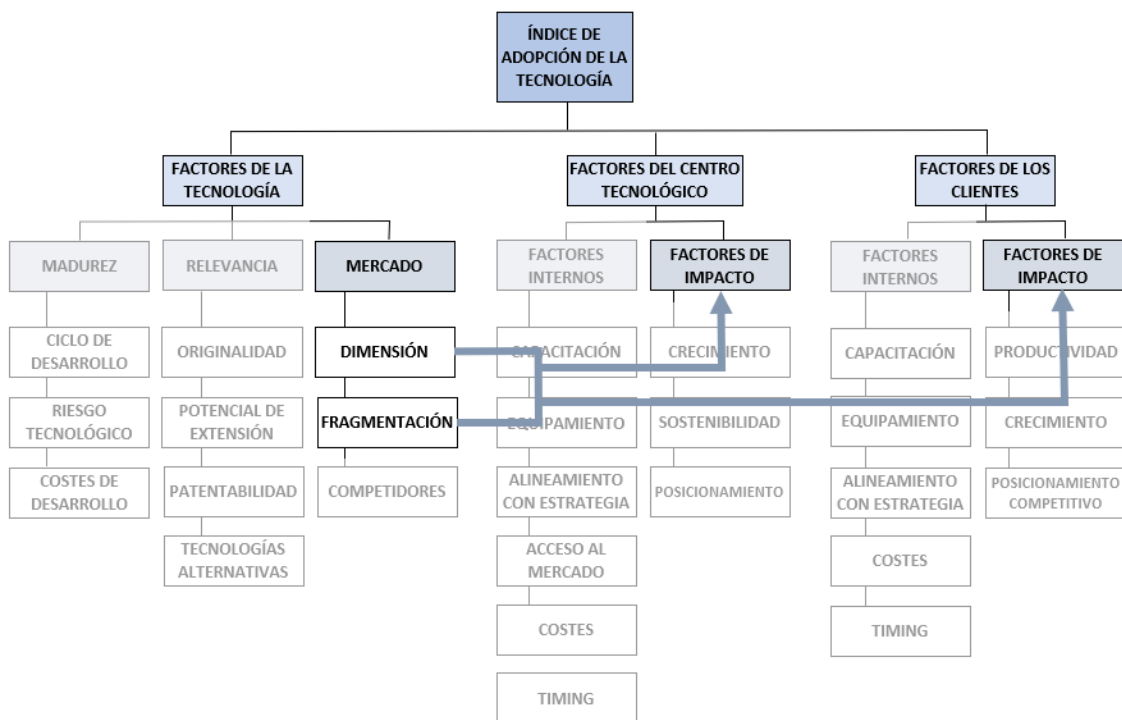


Figura 12: hipótesis 1\_2

Entre los factores de mercado, y con una clara relación con la hipótesis anterior, se encuentra el factor de la competencia y, más en concreto, con la presencia de competidores de relevancia. Este es otro de los factores recogidos en el modelo de las cinco fuerzas de Porter (2006) que recoge a los competidores (presentes y potenciales) como factores clave en la competitividad de una empresa. Algunos autores (Belderbos et al., 2015; Cevik Onar et al.,

### 3. Objetivos e Hipótesis de Investigación

2014; Kafouros et al., 2020) lo tratan desde una perspectiva diferente, proponiendo el partenariado como una herramienta de innovación. En general, los autores tratan la competencia como un factor de riesgo a considerar (Cho y Lee, 2013; Zirger y Maidique, 1990).

Siguiendo esta última corriente, se formula la hipótesis en la que se recoge el riesgo de competidores referentes ya instalados en el desarrollo y explotación de una tecnología, en los siguientes términos:

*Hipótesis 1\_3: El protagonismo de empresas competidoras de relevancia limita el potencial de impacto de una tecnología en los clientes.*

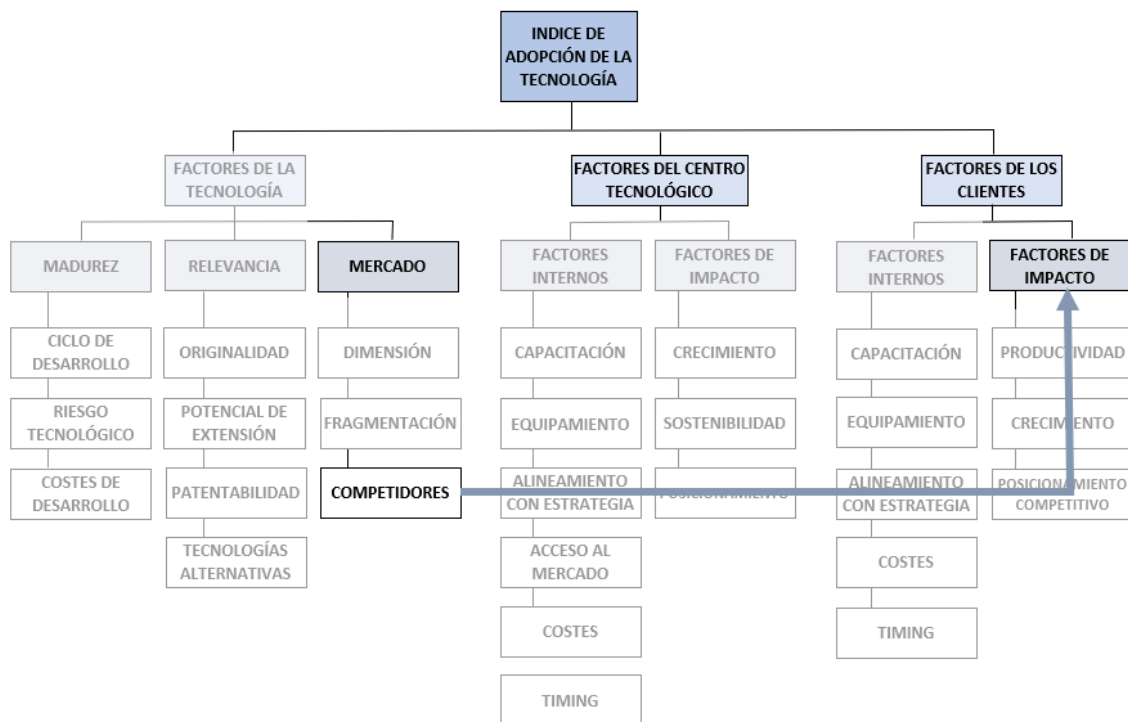


Figura 13: hipótesis 1\_3

#### 3.1.2.2 Hipótesis de apoyo al objetivo 2:

Objetivo 2: Identificar y seleccionar los factores que permiten caracterizar y verificar el impacto de la tecnología.

En el grupo de hipótesis asociadas al objetivo 2, se van a considerar los factores que caracterizan el impacto positivo esperable por la adopción de la tecnología en el centro tecnológico y en sus clientes.

La primera hipótesis está relacionada con la interacción entre el centro y la empresa y la realimentación que el éxito en la explotación de la tecnología por parte del cliente genera en el centro tecnológico.

La relación entre agentes de investigación (universidades principalmente) y empresas es

### 3. Objetivos e Hipótesis de Investigación

tratada en la bibliografía fundamentalmente desde la perspectiva de los modelos de relación y transferencia, según el flujo natural de agente como proveedor de la empresa, desde la visión de la empresa. Segarra y Arauzo (2008) estudian las relaciones entre empresas españolas del sector de Manufacturing y universidades, pero lo hacen desde las capacidades de las empresas, según su tamaño y naturaleza, para ser capaces de desarrollar esa positiva colaboración. Cunningham y Link (2014), defienden esa colaboración como clave para la innovación y desarrollo industrial, y tratan los aspectos relacionados con la madurez de la tecnología y los aspectos de protección. Algunos autores defienden también la importancia del soporte de la investigación universitaria por parte del sector industrial (Zeckhauser, 1996; Cohen et al., 1997).

Un paso más allá en esta última dirección, este trabajo de investigación defiende que el centro tecnológico recibe una realimentación positiva en su negocio si la tecnología que desarrolla llega a establecerse en el mercado a través de sus clientes, ya que este hecho supone abrir un campo de colaboración centro-empresa.

*Hipótesis 2\_1: Una tecnología que genera crecimiento empresarial basado en su explotación tiene una influencia positiva en el centro tecnológico que la desarrolla y transfiere, en términos de sostenibilidad, crecimiento y posicionamiento.*

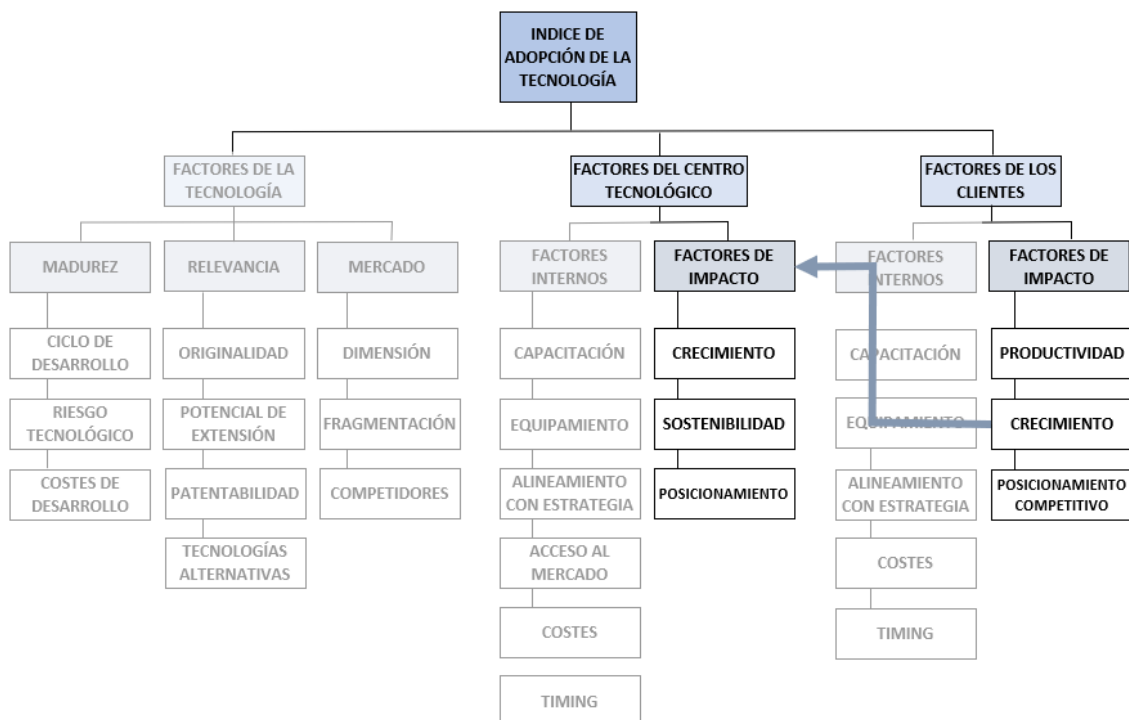


Figura 14: hipótesis 2\_1

La siguiente hipótesis marca en cierto modo el contrapunto a la hipótesis 1\_1, en la que se defiende el atractivo de una tecnología poco madura. En esta hipótesis se trata de destacar los potenciales factores limitantes para la viabilidad de una tecnología, asociados a costes y tiempos de desarrollo elevado (en cualquier fase del desarrollo, ya sea en el centro tecnológico

### 3. Objetivos e Hipótesis de Investigación

o en sus clientes).

Estos factores de coste y tiempo de maduración de la tecnología son tratados por numerosos autores que desarrollan aplicaciones de métodos multiobjetivo para la selección de tecnologías (Bayazit, 2005; Ordoobadi, 2012; Yurdakul, 2002; Braglia et al., 2006; Bernoider y Koch, 2001; Kocaglu et al., 2001). Algunos autores plantean alternativas a estudiar para reducir esos factores, como la adquisición de tecnologías frente al desarrollo interno (Denicolai et al., 2016) o partenariatado con proveedores o competidores (Jeonghwan et al., 2011).

En este caso la hipótesis que se plantea se refiere a la consideración de que esos potencialmente elevados costes y plazos de desarrollo deben ser tenidos en cuenta en todo el proceso de maduración de la tecnología, en el centro tecnológico y en las empresas cliente.

*Hipótesis 2\_2: Costes y tiempos de desarrollo elevados en el desarrollo global (centro tecnológico + clientes) reducen la oportunidad de un impacto positivo en centro tecnológico y sus clientes.*

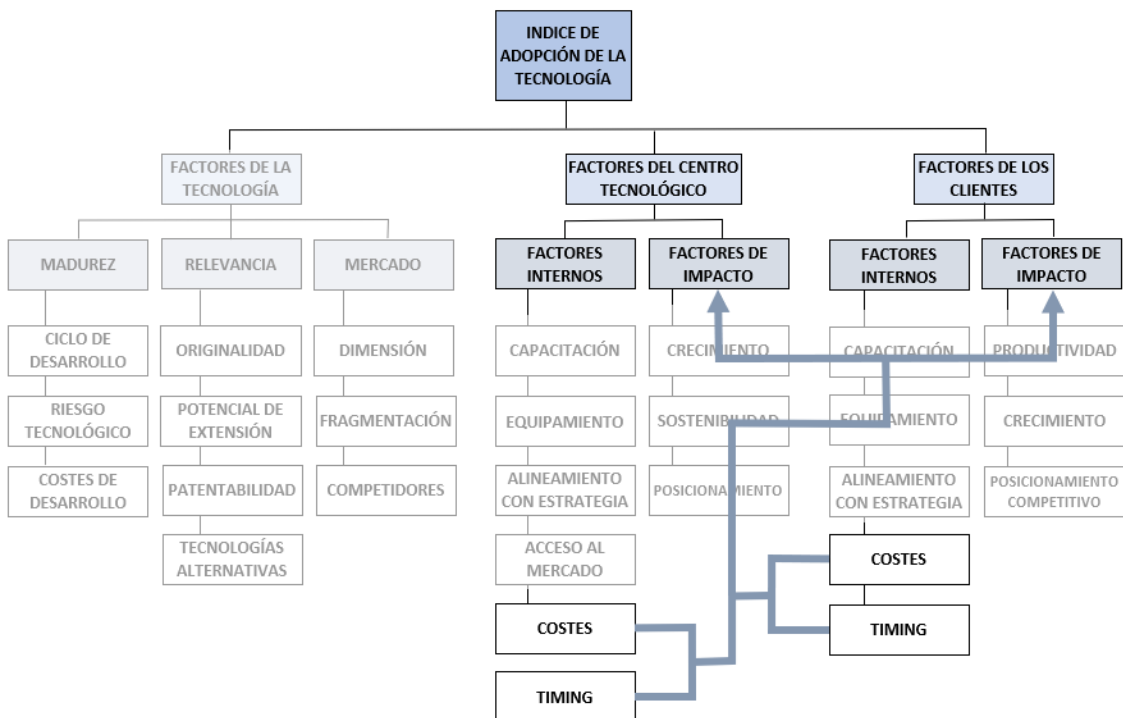


Figura 15: hipótesis 2\_2

#### 3.1.2.3 Hipótesis de apoyo al objetivo 3:

**Objetivo 3:** Identificar y seleccionar los factores que permiten evaluar la adecuación de la tecnología al escenario de aplicación. Bajo este objetivo se identificarán y seleccionarán las características propias del centro tecnológico y sus clientes potenciales que tienen influencia en que la adopción y desarrollo de una tecnología sea viable y exitosa o suponga una barrera

La primera hipótesis de este grupo se refiere a los factores que definen las capacidades de centro y empresa y su relación con una determinada tecnología. Estos son factores que, en el



### 3. Objetivos e Hipótesis de Investigación

caso de empresas, tanto del Manufacturing como de otros sectores, han sido profusamente analizados y así se recoge en la bibliografía analizada. Algunos autores consideran como factor de análisis el hecho de que la empresa disponga de una estrategia tecnológica (Farooq y O'Brien, 2015; Jain et al., 2010), otros hacen referencia al alineamiento o encaje de la tecnología a adoptar con la estrategia (Ordoobadi, 2012; Tan et al., 2008; Shehabuddeen et al., 2006). Por su parte, otros autores tratan sobre la importancia de la estrategia tecnológica e innovadora en el comportamiento interno y en los resultados de la empresa (Machuca et al., 2011; Guan et al., 2009).

Respecto a las capacidades organizativas los autores hacen referencia a la capacitación del personal (Nouri et al., 2015; Bayazit, 2005; Farooq y O'Brien, 2015; Mohanty et al., 2005) o del equipamiento disponible (Mohanty et al., 2005; García-Valderrama et al., 2009; Davoudpour et al., 2012). Por su parte, Mohanty et al. (2005) y Davoudpour et al. (2012) hacen referencia a la importancia de la experiencia previa en el campo tecnológico a abordar.

En línea con la importancia generalizada que se otorga a la estrategia y capacitación relacionada con la tecnología a desarrollar, la hipótesis propuesta añade la visión integrada de las capacidades de centro y empresa como requisito para el aseguramiento de la viabilidad de adopción y desarrollo de la tecnología.

*Hipótesis 3\_1: La adecuación de la capacitación, equipamiento y estrategia del centro tecnológico y los clientes facilitan la adopción de una nueva tecnología y la consecución del impacto esperable en el centro tecnológico y sus clientes.*

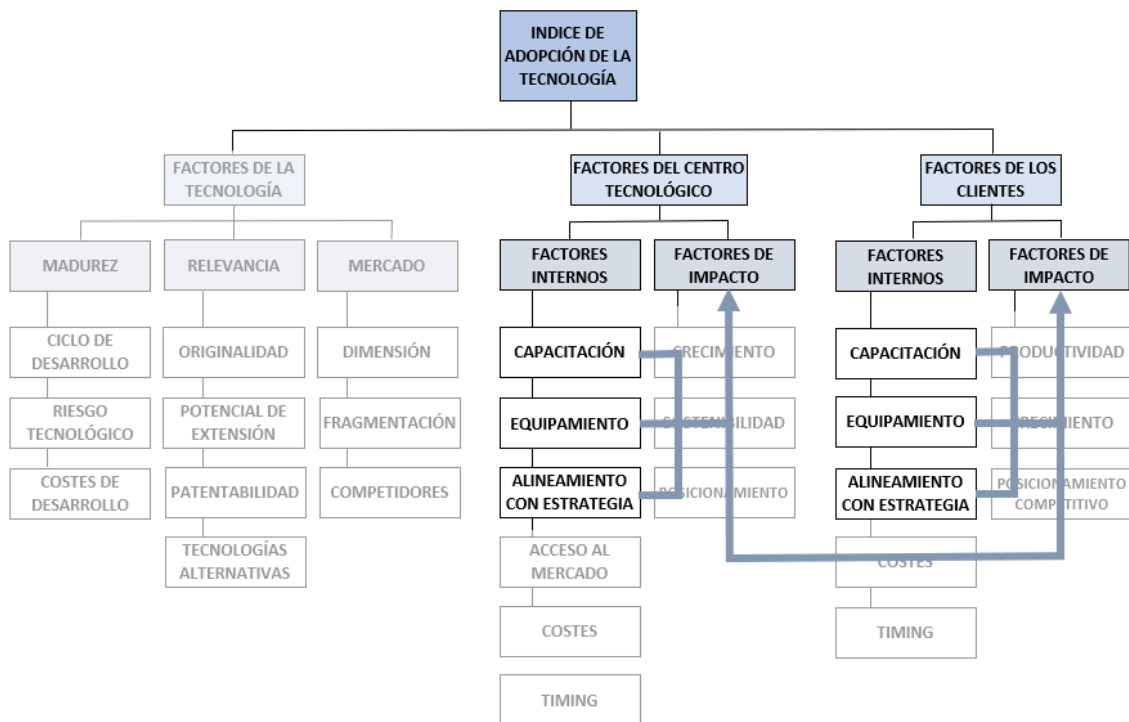


Figura 16: hipótesis 3\_1

A pesar de que en cualquier modelo de estrategia de innovación o de negocio el conocimiento

### 3. Objetivos e Hipótesis de Investigación

de los parámetros que mueven el mercado se considera clave, los trabajos analizados para la selección de tecnologías prácticamente no abordan este criterio como tal. Son varios los autores (Bayazit, 2005; Ordoobadi, 2012; Bernoider y Koch, 2001; Dhavale, 1995; Anand y Kodali, 2009) que incluyen criterios de satisfacción de clientes o colaboración con clientes, mientras que otros como Rodríguez-Pinto et al., 2011, abordan la ventaja que supone adelantarse a la competencia en la entrada al mercado y los mecanismos necesarios para ello.

Por otra parte, como se ha descrito a lo largo de todo el documento, las menciones a casos de centros tecnológicos o agentes de I+D son escasas (Azzone y Manzini, 2008; Davoudpour et al., 2012) y este es el aspecto diferenciador que se presenta en esta hipótesis, en la que se defiende la importancia de ese factor.

*Hipótesis 3\_2: El conocimiento y mecanismos de acceso al mercado por parte del centro proporcionan una mayor viabilidad a la adopción de la tecnología (costes y tiempo de desarrollo)*

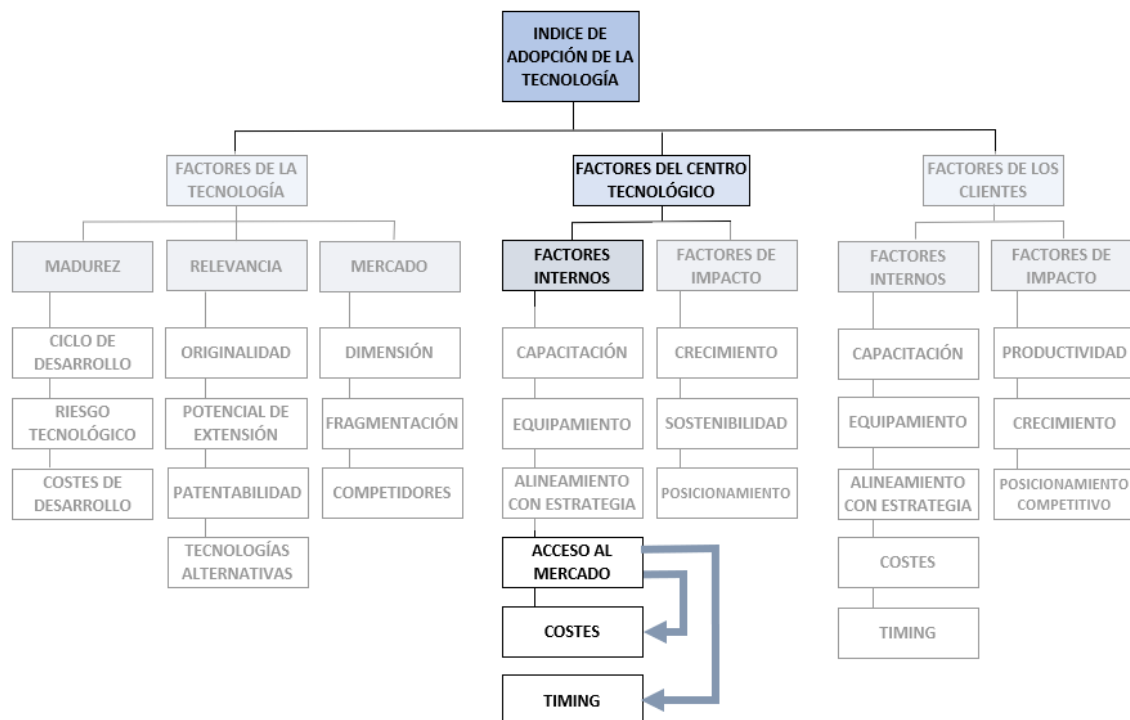


Figura 17: hipótesis 3\_2

La siguiente hipótesis es una combinación de algunos factores tratados en hipótesis anteriores. Se formula en términos de oportunidad de desarrollo y crecimiento del centro tecnológico, en caso de plantearse un escenario de oportunidad (técnica y de mercado) pero en el que no dispone de las capacidades necesarias.

Puede, por tanto, entenderse como contradictoria con la anterior, pero si se considera en términos de oportunidad se convierte en complementaria.

*Hipótesis 3\_3: En el caso de una tecnología con factores propios favorables, y factores internos de los clientes favorables, aunque la capacitación y el equipamiento del centro tecnológico no*

### 3. Objetivos e Hipótesis de Investigación

sean los más adecuados, el encaje de la tecnología con la estrategia del centro convierte esa limitación en una oportunidad, permitiendo abrir nuevas líneas de desarrollo y capacitación, y con ello generar un crecimiento.

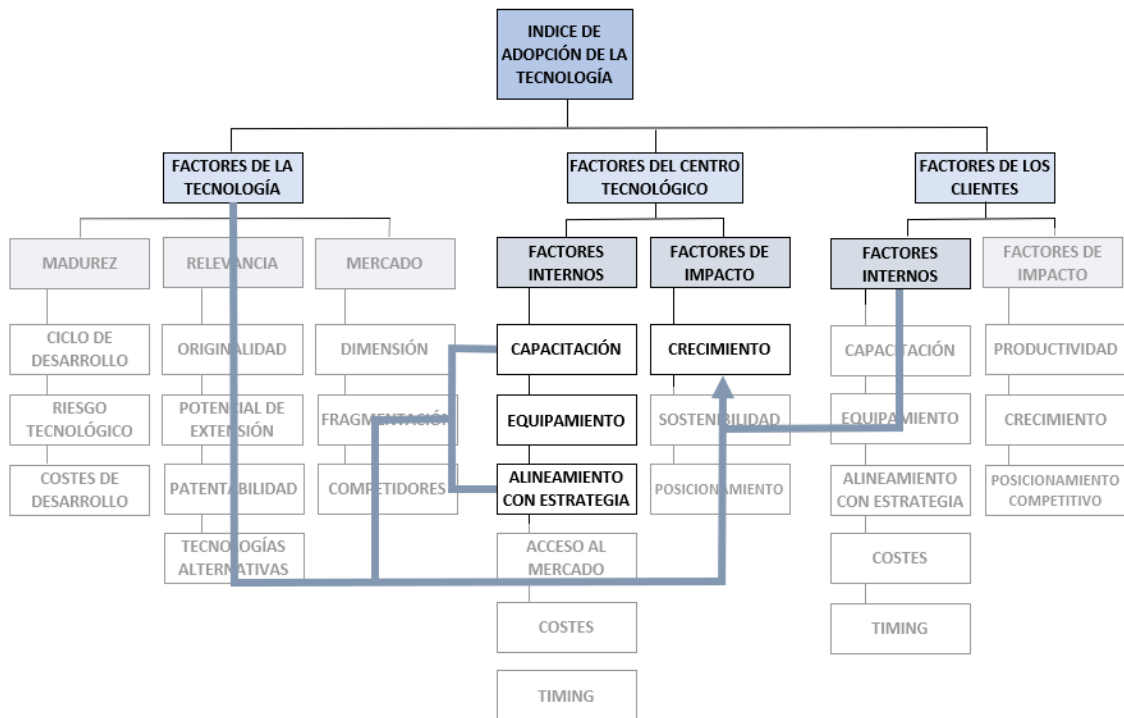


Figura 18: hipótesis 3\_3

#### 3.1.2.4 Hipótesis de apoyo al objetivo 4

**Objetivo 4:** Definir y desarrollar un modelo que permitan analizar y objetivizar las relaciones entre estos diferentes parámetros para poder cuantificar el valor de la tecnología en función de esas áreas seleccionadas

El estudio bibliográfico ha proporcionado la identificación de diferentes métodos de selección multicriterio con potencial demostrado para su aplicación en la actividad orientada a alcanzar este objetivo. Diferentes autores han realizado comparaciones entre métodos de selección multicriterio (Başdar y Alper, 2017; Ghaleb et al., 2020; Thor et al., 2013; Tscheikner-Gratl et al., 2017), concluyendo que no hay diferencias sustanciales de comportamiento que proporcionen ventajas definitivas ni carencias excluyentes. Uno de los métodos más novedosos es MIVES, desarrollado y aplicado fundamentalmente en el sector de la Construcción, pero con características y funcionalidades que permiten perfectamente aplicarlo en otros campos (Cuadrado et al., 2016; Pujadas et al., 2017).

*Hipótesis 4\_1: el método MIVES se muestra adecuado para construir un modelo para la valoración, comparación y selección de tecnologías y también para la decisión sobre una única tecnología.*

**3.1.2.5 Hipótesis de apoyo al objetivo 5:**

Objetivo 5: Evaluar, verificar y ajustar el comportamiento del modelo a través de su aplicación sobre casos reales.

Prácticamente todos los trabajos consultados sobre la selección de tecnologías, ya sea por métodos multicriterio como por otros métodos, completan el trabajo con la validación a través la aplicación del método a uno o varios casos de estudio. Este trabajo presenta una particularidad relacionada con el factor temporal, y es el hecho de que factores como la sostenibilidad e incluso el impacto derivado por el desarrollo de una tecnología seleccionada a través del método a desarrollar requiere de un tiempo que excede ampliamente al período de finalización de la tesis. Por ello, lo que se plantea es la simulación sobre casos reales de tecnologías novedosas desarrolladas en el pasado y de las que se conozca el impacto final, ya sea en términos de éxito o fracaso. Esta perspectiva temporal permite tener una referencia sobre la evolución posterior de las tecnologías y su implementación.

*Hipótesis 5\_1: La aplicación del modelo a desarrollar en la simulación de casos reales conocidos permite evaluar adecuadamente la validez del modelo*

## Capítulo 4

---

### **Metodología**

## 4 Metodología de investigación

### 4.1 Introducción. Enmarque en el proceso de Gestión de la Tecnología

En este capítulo se va a describir la metodología de investigación desplegada para alcanzar los objetivos de la tesis doctoral. Se presenta el esquema global de la metodología, se describen las actividades a completar y se aporta un esquema de relación entre esas actividades, su distribución temporal y los actores que intervienen en cada una de ellas.

#### 4.1.1 Enmarque en el proceso de Gestión de la Tecnología

Antes de describir la metodología a seguir en el proyecto de investigación, conviene ilustrar de manera esquemática la secuencia de desarrollo o maduración de una tecnología, desde su identificación hasta su transferencia al mercado, para ubicar en esa cadena de desarrollo el método que se pretende obtener de esta investigación.

El esquema básico de un proceso de desarrollo tecnológico habitual desde el marco de un centro tecnológico puede representarse como se ve en la figura 19. Este esquema sigue el planteamiento de Gregory (1995), con la variante introducida anteriormente de integrar la actividad de protección junto con la de explotación, como una única fase de transferencia al mercado.

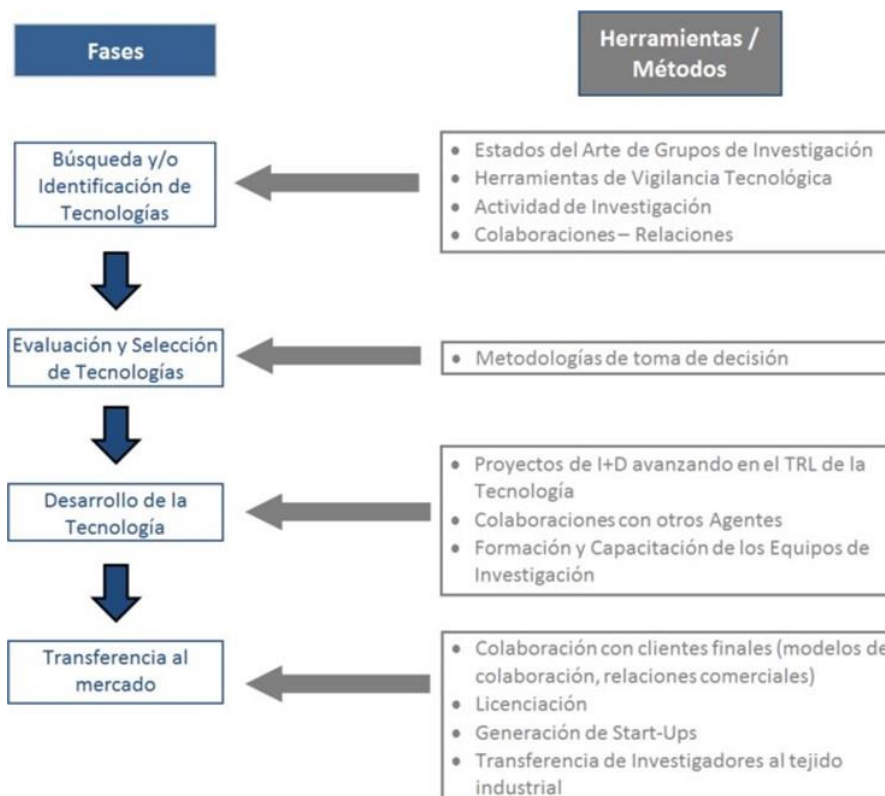


Figura 19: Esquema propuesto para el Proceso de Desarrollo Tecnológico. Adaptación del modelo de Gregory (1995)

## 4. Metodología de Investigación

De estas cuatro fases principales, esta tesis doctoral se centra en la segunda, si bien, como se ha indicado en los capítulos anteriores, hay factores del resto de fases de desarrollo de una tecnología que son clave para que la fase de evaluación y selección sea exitosa y por tanto serán considerados en el modelo a desarrollar.

Tal como se ha descrito en la formulación de los objetivos, se busca desarrollar un modelo que permita objetivizar y cuantificar el proceso de análisis, evaluación y toma de decisión sobre la idoneidad de abordar el desarrollo de una tecnología, atendiendo fundamentalmente a criterios de impacto y adecuación, no sólo del propio centro tecnológico sino también de sus clientes potenciales, que son el elemento clave para asegurar el éxito y la sostenibilidad de la apuesta por la tecnología.

Es por ello que el modelo recogerá factores asociados a las estrategias y capacidades del centro y sus clientes y también a la accesibilidad y relaciones entre ellos y el mercado o mercados potenciales de la propia tecnología.

### 4.2 Descripción de la Metodología

El esquema básico de las actividades en que se estructura el proyecto de investigación se representa a continuación (figura 20). En el esquema se presentan las actividades globales que se detallan posteriormente, así como los resultados en los que se materializan las actividades.

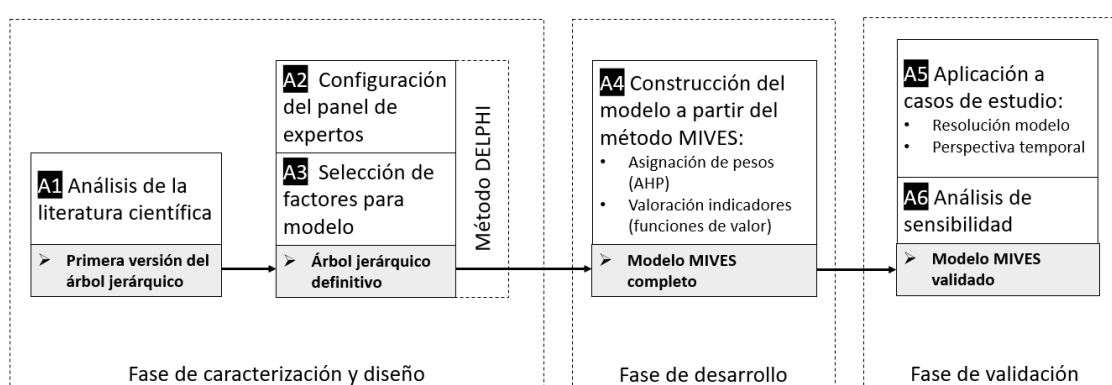


Figura 20: Esquema de la metodología de investigación

#### 4.2.1 Fase de caracterización y diseño

En esta primera fase se han trabajado las actividades necesarias para centrar el esquema general de desarrollo del método, y que dan respuesta a los objetivos operativos 1, 2 y 3: identificación y selección de los parámetros de caracterización de la tecnología; identificación y selección de los parámetros que caracterizan el impacto esperado; identificación y selección de los parámetros que caracterizan la adecuación de la tecnología al escenario de desarrollo (capacidades y características del centro tecnológico y sus clientes).

Las actividades que se plantean para ello son las siguientes:

##### **4.2.1.1 Actividad 1: Análisis de la Literatura Científica.**

El análisis de la literatura se ha llevado a cabo dando respuesta a dos objetivos diferentes dentro de la investigación:

- En primer lugar, llevar a cabo una primera versión del esquema de relaciones y árbol jerárquico de decisión del modelo multivariable. A partir de la literatura científica, en particular la relacionada con los métodos de toma de decisión multicriterio, se ha realizado una primera selección de factores de caracterización del modelo (requerimientos, criterios e indicadores, según la terminología del método MIVES). Este primer árbol se ha completado posteriormente con el trabajo del panel de expertos configurado en la Actividad 2.
- El segundo objetivo de la revisión del análisis de la literatura es la identificación de posibles nuevos desarrollos, actualizaciones o modificaciones en los métodos de toma de decisión multicriterio, en particular el método seleccionado, MIVES, para asegurar la vigencia y novedad de la investigación que se está realizando.

##### **4.2.1.2 Actividad 2: Configuración del panel de expertos**

El trabajo con paneles de expertos es una técnica habitual en procesos de Innovación y Gestión de la Tecnología. Métodos como Delphi (López-Gómez, 2018; Valdés y Marín, 2013), los métodos basados en la definición de escenarios (Culka, 2018; Gordon and Glenn, 2017), Technology Radar (Boe-Lillegraven y Monterde, 2015; Rohrbeck et al., 2006), *Roadmapping* (Lee et al., 2013; Vishnevskiy et al., 2015; Zhang et al., 2016), entre otros utilizan el trabajo en base a cuestionarios y talleres con equipos de expertos multidisciplinares.

Por otra parte, los métodos de selección multicriterio referenciados en la bibliografía también requieren de la conformación de un equipo de expertos que lleve a cabo diferentes tareas de valoración para asignar pesos y valores a criterios y alternativas durante el proceso de generación del modelo. Es habitual, como se ha identificado en el análisis bibliográfico, la utilización de Delphi para llevar a cabo esta tarea.

En esta tesis se ha seleccionado el método MIVES como base para el desarrollo del modelo. El método MIVES incluye la actividad de un panel de expertos siguiendo el método Delphi.

El trabajo de este panel de expertos se ha desarrollado en las siguientes áreas:

- En la primera fase, en la selección de los factores de caracterización del modelo, se solicita a los expertos que revisen y complementen los factores seleccionados en la actividad 1 a partir de la revisión de la literatura. A partir de este trabajo del panel de expertos se ha configurado el árbol jerárquico definitivo que estructura el modelo MIVES de evaluación y selección, que se completa en las actividades posteriores.
- Adicionalmente a la selección de los factores, sobre el árbol definitivo, se ha solicitado a los expertos la ponderación de los factores seleccionados. Esta ponderación se utiliza



#### 4. Metodología de Investigación

como referencia posteriormente, en la asignación de pesos a los indicadores, criterios y requerimientos del modelo MIVES.

Este panel de expertos se ha configurado, atendiendo a las recomendación y criterios que se identifican en la literatura relacionada con Delphi (Baker et al., 2006; López-Gómez, 2018; Steurer, 2011), con personas del tejido industrial y académico-científico del entorno del grupo de investigación, entendiendo como entorno la afinidad geográfica en algunos casos, pero también la afinidad en la actividad, en otros, en los que se ha acudido a investigadores internacionales.

##### **4.2.1.3 Actividad 3: Selección de factores para el modelo**

Como se ha descrito en las actividades anteriores, este trabajo se realiza en las dos fases indicadas: en primer lugar, a partir de la revisión de la literatura científica y posteriormente a través del trabajo del panel de expertos configurado siguiendo en este caso el método Delphi para la recogida de opiniones de los expertos del panel en rondas de interacción para la búsqueda del consenso.

El método Delphi se basa en el principio de la inteligencia colectiva, que trata de lograr un consenso de opiniones expresadas de forma individual por un grupo de personas seleccionadas cuidadosamente como expertos calificados en torno al tema analizado, por medio de la iteración sucesiva de un cuestionario retroalimentado de los resultados de la ronda anterior (Linstone y Turoff, 1975, 2002).

El proceso iterativo retroalimentado debe tener como propósito la construcción de un consenso: este es un acuerdo general de grupo a partir del procesamiento de las diferencias y coincidencias entre las apreciaciones individuales y sus actualizaciones a través de las sucesivas rondas.

Para ello, se ha configurado un primer cuestionario abierto, incluyendo ordenada y agrupadamente los factores más relevantes identificados en la revisión de la literatura, para a partir del proceso de búsqueda del consenso orientado hacia una selección de factores de acuerdo con las recomendaciones que propone el método MIVES, también el método AHP que integra, en cuanto a no utilizar un número excesivo de factores, preferiblemente inferior a veinte (Viñolas et al., 2009), seleccionar los factores finales y estructurar el árbol jerárquico.

##### **4.2.2 Fase de Desarrollo**

En esta fase, a partir del árbol jerárquico estructurado en la fase de configuración y diseño, se construye el modelo MIVES. Las actividades que lo configuran se describen a continuación.

##### **4.2.2.1 Actividad 4: Construcción del modelo a partir del método MIVES**

Recordando que el objetivo de la tesis es disponer de un modelo de selección que pueda ser utilizado por centros tecnológicos y también empresas que dispongan de equipos dedicados al

#### 4. Metodología de Investigación

desarrollo de actividades de I+D, esta actividad se centra en aplicar y adaptar la metodología MIVES a las particularidades del escenario en el que se enmarca la tesis.

MIVES es una metodología de toma de decisión multicriterio que evalúa cada una de las alternativas que pueden resolver un problema genérico definido, a través de un índice de valor. Esta metodología se engloba dentro de la teoría de utilidad multiatributo ya que para obtener el índice de valor de cada alternativa se realiza una suma ponderada de las valoraciones de los diferentes criterios considerados, admitiendo que existe certidumbre. Es decir, las preferencias del decisor respecto a los indicadores planteados son conocidas. Las fases de la metodología MIVES son:

- Introducción del árbol de toma de decisión: se ordenan de forma ramificada los aspectos que se tendrán en cuenta en la decisión. En este caso, el árbol jerárquico se recibe de la actividad anterior.
- Asignación de pesos: se asigna la importancia relativa de cada uno de los aspectos en relación a los restantes pertenecientes a una misma ramificación. Para ello, MIVES permite utilizar una escala de valoración o llevar a cabo la comparación por pares, según AHP. Esta segunda opción se ha aplicado en este trabajo de investigación, si bien la ponderación propuesta por el panel de expertos en la fase anterior se ha utilizado como referencia.
- Creación de las funciones de valor: uno de los aspectos diferenciadores de MIVES, con las funciones personalizables a cada indicador para obtener sus valoraciones de 0 a 1.
- Definición de las alternativas: se definen diversas alternativas factibles al problema de toma de decisión planteado. En algunos casos, las alternativas están prefijadas al inicio de la toma de decisión y por ello, no se debe realizar esta fase.
- Valoración de las alternativas: se obtiene el índice de valor para cada una de las alternativas planteadas. Este índice, adimensional, obtiene un valor entre 0 y 1, a partir de las valoraciones de los indicadores y la aplicación de los pesos asignados en los sucesivos niveles del árbol.

#### **4.2.3 Fase de Validación**

En esta última fase del proyecto se trata de evaluar la validez del modelo y de realizar una iteración de optimización o ajuste del modelo en base a los resultados de la simulación a llevar a cabo. Para ello, las actividades que se plantean son las siguientes dos:

##### **4.2.3.1 Actividad 5: Aplicación sobre casos de estudio**

Se han seleccionado para la fase de validación, dos casos de estudio como alternativas a valorar en el modelo MIVES. Los casos de estudio que se han seleccionado para la validación del modelo han sido dos casos reales elegidos con una perspectiva en el tiempo de diez años. Se han seleccionado estos casos porque se dispone de los datos necesarios para la

#### 4. Metodología de Investigación

construcción y resolución del modelo y porque la perspectiva en el tiempo y la evolución de las tecnologías evaluadas permite llevar a cabo una evaluación detallada de los resultados otorgados por el modelo, tanto globalmente como para cada uno de los indicadores, criterios y requerimientos, de forma que se puede realizar una evaluación cualitativa del comportamiento del modelo y su consistencia

##### **4.2.3.2 Actividad 6: Análisis de Sensibilidad**

El análisis de sensibilidad es una fase opcional propuesta por el método MIVES, que se utiliza para verificar la solidez y estabilidad del modelo desarrollado, buscando identificar excesivas fluctuaciones del resultado frente a cambios de pequeña magnitud en pesos o valoraciones.

El análisis de sensibilidad se recomienda con el objetivo de verificar que ligeros cambios en los correspondientes pesos relativos no provoquen cambios significativos en el indicador global de la evaluación (Chang et al., 2007; Emrouznejad y Marra, 2017). Este análisis de sensibilidad puede extenderse a todos los niveles jerárquicos (requerimientos, criterios e indicadores) pero, habitualmente se aplica sólo a los requerimientos, ya que por su posición en el esquema jerárquico presentan la mayor influencia sobre el resultado del indicador global (Veisi et al., 2016; Viñolas et al., 2009).

Como se ha indicado, es una actividad opcional de MIVES, pero se ha considerado oportuno llevarla a cabo en este trabajo de investigación para completar esta fase de validación.

## Capítulo 5

---

### **Resultados**

## 5 Resultados

### 5.1 Descripción del método MIVES en el que se basa el modelo a desarrollar

El proyecto MIVES fue concebido en el año 2002 para analizar la sostenibilidad en sistemas constructivos (Zubizarreta et al., 2017). De manera análoga a otros métodos MCDM, ha sido objeto de actualizaciones, desde MIVES I hasta MIVES IV, lo que da una idea de la relevancia que el método está alcanzando, siendo también creciente el número de campos de aplicación en la que es utilizado (Zubizarreta et al., 2017).

MIVES es una metodología genérica para la evaluación de la sostenibilidad, que fue desarrollada por investigadores de la Universidad Politécnica de Cataluña, de la Universidad del País Vasco, y de Labein-Tecnalia, bajo la coordinación del Profesor D. Antonio Aguado de Cea (Aguado et al., 2006; Viñolas et al., 2009).

Si bien en sus orígenes MIVES estaba orientado a la evaluación cuantitativa de temas predominantemente relacionados con la sostenibilidad, su versatilidad la hace muy útil para aplicarla en un gran abanico de campos del conocimiento (Cuadrado et al., 2016; de la Fuente et al., 2017; Hosseini et al., 2018; Pardo-Bosch y Aguado, 2016; Pons et al., 2016; Pujadas et al., 2017; Zubizarreta et al., 2017). Una de las características más representativas de la metodología MIVES, y que la diferencia de otras, es que el planteamiento de todo el modelo de valoración es anterior a la creación de las alternativas. De esta forma, las decisiones se toman al inicio, cuando se definen los aspectos que se tendrán en cuenta y cómo serán valorados. La ventaja de este planteamiento es que la toma de decisión se realiza sin que exista influencia de las valoraciones de las alternativas, evitando que se produzca cualquier tipo de subjetividad (Viñolas et al., 2009).

Como se ha adelantado en apartados anteriores, se ha decidido utilizar el método MIVES como herramienta para esta tesis doctoral porque aporta entre los métodos de toma de decisión multicriterio una combinación de novedad y solidez, por el atractivo que presenta la aplicación de funciones de valor para la personalización de la valoración de los factores de decisión y porque siendo fundamentalmente utilizado en el sector de la construcción, su aplicación al sector de la fabricación y al entorno de la selección de tecnologías de investigación, aporta un valor de novedad para la tesis y también para el propio método.

A continuación se van a describir los fundamentos y las fases en que se estructura el método, a partir de la descripción que del mismo hacen sus propios autores en diferentes publicaciones (Aguado et al., 2006; Pujadas et al., 2017; Viñolas et al., 2009).

Las fases que componen el desarrollo de la metodología MIVES son:

1. Delimitación de la decisión: se define quien toma la decisión, se fijan los límites del sistema y se establecen las condiciones de contorno.

## 5. Resultados

---

2. Introducción del árbol de toma de decisión: se ordenan de forma ramificada los aspectos que se tendrán en cuenta en la decisión.
3. Creación de las funciones de valor: se crean unas funciones para poder obtener valoraciones de 0 a 1 de todos los aspectos pertenecientes a la última ramificación. Este es uno de los aspectos diferenciadores del método.
4. Asignación de pesos: se asigna la importancia relativa de cada uno de los aspectos en relación a los restantes pertenecientes a una misma ramificación.
5. Definición de las alternativas: se definen diversas alternativas factibles al problema de toma de decisión planteado. En algunos casos, las alternativas están prefijadas al inicio de la toma de decisión y por ello, no se debe realizar esta fase.
6. Valoración de las alternativas: se obtiene el índice de valor para cada una de las alternativas planteadas.
7. Realización de un análisis de sensibilidad: se analiza el posible cambio del índice de valor de cada una de las alternativas en el caso de variar los pesos o las funciones de valor definidas en las primeras fases. Esta es una fase opcional dentro de la metodología MIVES.

### 5.1.1 Fases de la metodología MIVES

A continuación se describen con un mayor nivel de detalle las fases enumeradas en el apartado anterior, que configuran la metodología MIVES (Viñolas et al., 2009)

#### 5.1.1.1 Delimitación de la decisión

En esta etapa se estructura y delimita la toma de decisión que se va a realizar. Los aspectos fundamentales de ésta son:

- Quién toma la decisión. En una decisión pueden intervenir distintos agentes con distintos puntos de vista. En muchos casos, no existe una alternativa que sea la mejor en cada uno de los aspectos considerados. Por ello, obtener la mejor alternativa no es inmediato y depende de quien tome la decisión, respondiendo a sus intereses, claramente definidos.
- Cuáles son los límites del sistema. Para identificar la toma de decisión, ésta se estructura en tres ejes tal y como puede verse en la figura 21. En uno de los ejes, la toma de decisión se descompone en todo su ciclo de vida. Entendiendo por tal las fases temporales de las diferentes alternativas. En otro eje, la toma de decisión se divide en todos sus componentes, es decir, en las partes que componen las diferentes alternativas. Finalmente, en el último eje figuran todos aquellos requerimientos o aspectos en los que se quieren valorar las diferentes alternativas. El descomponer o estructurar la toma de decisión en tres ejes, ayuda a definir de forma muy precisa cuál

## 5. Resultados

es la toma de decisión. De esta forma, se disminuye considerablemente el riesgo de olvidarse algún requerimiento, componente o etapa del ciclo de vida y se obtienen valoraciones de alternativas comparables y homogéneas.

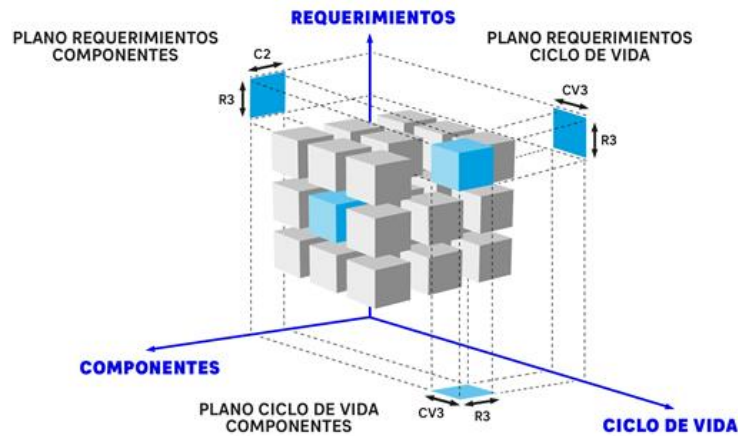


Figura 21: Estructura general de la toma de decisión

- Qué condiciones de contorno existen. Las circunstancias que rodean a la toma de decisión pueden ser diferentes dependiendo de factores: temporales, geográficos, climatológicos, tipo de sociedad, etc. Para que la valoración de las alternativas que solucionan un problema sea comparable, las condiciones de contorno deben ser iguales. Lo que evidentemente puede ser diferente, es la cuantificación de una alternativa u otra, es decir, la solución que ofrece cada alternativa al problema dado. Pero el planteamiento inicial del problema debe ser el mismo para poder comparar qué solución es mejor.

### 5.1.1.2 Árbol de toma de decisión

El árbol de toma de decisión es la ordenación en forma ramificada de todos aquellos aspectos que serán estudiados y que se han estructurado en la primera fase. En la figura 22 se muestra de forma genérica un árbol de toma de decisión. Existen varios niveles en la ramificación, a la vez que cada ramificación puede subdividirse en muchos o pocos subniveles. En los primeros niveles, se encuentran los aspectos más cualitativos y generales denominados requerimientos. En los niveles intermedios de la ramificación se encuentran los criterios y subcriterios, y en los últimos niveles de la ramificación se encuentran los aspectos más concretos y que van a ser evaluados directamente: los indicadores. No se aconseja realizar más de 3 ó 4 ramificaciones (Aguado et al., 2006) y tampoco que el número de indicadores sea superior a 20 (Viñolas et al., 2009) ya que las valoraciones de los indicadores poco importantes pueden diluir los resultados de los indicadores realmente importantes.

Es importante realizar una correcta estrategia para obtener un buen árbol de toma de decisión. Por ello, es bueno, que los requerimientos y en muchos casos, los criterios, sean escogidos por los responsables o gestores. La razón es que son ellos los que deben definir los aspectos que consideran más importantes o las líneas generales de mejora que deben seguirse. También

## 5. Resultados

deben decidir el peso o la importancia relativa de éstos. Para los indicadores, se aconseja que sean los técnicos que definan cuáles deben ser ya que estos aspectos tienen un carácter más específico y la mayoría de las veces son las características técnicas las que nos pueden conducir a saber qué indicadores son los apropiados para los diferentes criterios. En el caso de las funciones de valor y la asignación de pesos para estos indicadores (las 2 siguientes fases) también son los técnicos los que las tienen que definir.

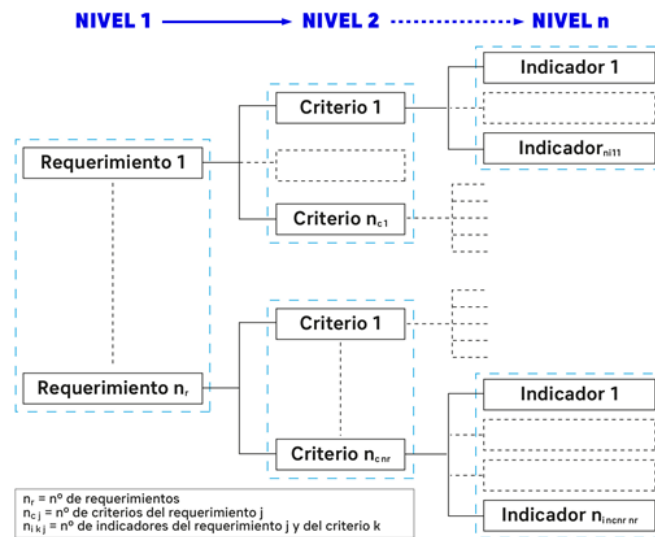


Figura 22: Árbol de toma de decisión genérico

Los requerimientos, criterios e indicadores deben representar de forma fiel lo que realmente se quiere valorar. Las características principales de los indicadores escogidos en el árbol de toma de decisión deben ser: representativos, discriminantes, complementarios, relativos, cuantificables, precisos y trazables.

### 5.1.1.3 Funciones de valor

El objetivo principal de la función de valor es poder comparar las valoraciones de los indicadores con unidades de medida diferente. Por ejemplo, se trata de poder comparar variables del tipo: tiempo, coste, temperatura, indicadores cuantificados por atributos, etc. De esta forma, se podrá realizar una suma ponderada de las diferentes valoraciones de cada uno de los indicadores. La función de valor permite pasar de una cuantificación de una variable o atributo a una variable adimensional comprendida entre 0 y 1. Para la fase de valoración de los indicadores, se plantean diferentes funciones de valor para cada uno de ellos. Estas funciones de valor, que varían entre 0 y 1 en el eje de ordenadas, representan estado de valoración nula o valoración máxima, respectivamente, para cada uno de los indicadores. En el eje de las abscisas se encuentra la variable del indicador, que en el caso de ser un atributo puede convertirse en una variable mediante una tabla de puntuación.

La función de valor se define mediante cinco parámetros que, al variarlos, permite obtener todo tipo de formas: forma de "S", cóncava, convexa, o lineal. La utilización de una u otra forma para



## 5. Resultados

las funciones de valor individuales depende de las características del indicador a evaluar y de su papel en el árbol jerárquico.

Los parámetros que definen el tipo de función son:  $K_i$ ,  $C_i$ ,  $X_{\max}$ ,  $X_{\min}$  y  $P_i$ , según la ecuación (1).

$$V_{ind} = B \cdot \left[ 1 - e^{-K_i \left( \frac{|X - X_{\min}|}{C_i} \right)^{P_i}} \right] \quad (1)$$

- $X_{\min}$  es el valor en abscisas, cuya valoración es igual a cero (en el caso de funciones de valor crecientes).
- $X$  es la abscisa del indicador evaluado (variable para cada alternativa).
- $P_i$  es un factor de forma que define si la curva es cóncava, convexa, recta o con forma de "S". Obteniéndose curvas cóncavas para valores de  $P_i < 1$ , convexas o en forma de "S" si  $P_i > 1$  y tendiendo a rectas para valores  $P_i = 1$ . Además, determina de forma aproximada la pendiente de la curva en el punto de inflexión de coordenadas  $(C_i, K_i)$ .
- $C_i$  se aproxima a la abscisa del punto de inflexión.
- $K_i$  se aproxima a la ordenada del punto de inflexión.
- $B$  es el factor que permite que la función se mantenga en el rango de valor de 0 a 1. Este factor viene definido por la ecuación (2). Donde  $X_{\max}$  es la abscisa del indicador que genera un valor igual a 1 (en el caso de funciones de valor crecientes).

$$B = \left[ 1 - e^{-K_i \left( \frac{|X_{\max} - X_{\min}|}{C_i} \right)^{P_i}} \right]^{-1} \quad (2)$$

Como se ha indicado, pueden utilizarse funciones decrecientes, esto es, que adopten el valor máximo en  $X_{\min}$ . La única diferencia de la función de valor es que se sustituye la variable  $X_{\min}$  por la variable  $X_{\max}$ .

### 5.1.1.4 Asignación de pesos

La asignación de pesos se realiza dentro de una misma ramificación, es decir, se comparan aspectos que sean homogéneos. Así, los pesos de los indicadores se calculan en relación a otros pertenecientes a un mismo criterio. Igualmente se hace con los criterios, se calcula el peso de un criterio en relación a los restantes pertenecientes a un mismo requerimiento. Todos estos aspectos considerados homogéneos están encuadrados en la figura 22 (árbol de toma de decisión genérico). Los pesos de los requerimientos, criterios e indicadores se pueden determinar tanto mediante una puntuación directa (en el caso de pocos elementos componentes del grupo de comparación) como a través de la metodología AHP. En el caso de utilizar AHP, se lleva a cabo la comparación por pares de todos los elementos entre ellos, de acuerdo con la escala propuesta en el método (Saaty, 1980), en la que se admiten las

## 5. Resultados

---

situaciones intermedias y los inversos:

- 1: Igual importancia
- 3: Ligeramente más importante o preferido
- 5: Más importante o preferido
- 7: Mucho más importante o preferido
- 9: Absolutamente o extremadamente más preferido.

Ello da lugar a una matriz de comparación para cada bloque de comparación en la que la diagonal está compuesta, obviamente, por valores 1 (comparación de un elemento consigo mismo), mientras que el resto de las posiciones están compuestas por valores inversos (si el indicador  $i$  respecto al indicador  $j$  tiene una importancia de 4, cuando se compara el indicador  $j$  con el indicador  $i$  será el valor inverso, es decir,  $1/4$ ).

De cada matriz de comparaciones resultante de cada bloque homogéneo (requerimientos, criterios e indicadores), el vector propio de esta matriz define los pesos de cada uno de los requerimientos, criterios e indicadores utilizados (valor de  $w$  en la ec. (3)); de hecho, el cálculo del vector propio es, aproximadamente, la media de los  $n$  pesos de un mismo aspecto obtenidos a partir de la comparación de la importancia relativa de todos los aspectos con uno de ellos tomado como de referencia. Al existir  $n$  elementos de referencia (los  $n$  aspectos), se pueden obtener los  $n$  pesos para cada uno de los aspectos considerados.

$$A w = \lambda_{\text{máx.}} w [\text{Id}] \quad (3)$$

Por otro lado, se debe calcular la consistencia de las comparaciones. Para ilustrarlo, consideremos que "A" es el doble de importante que "B" y "B" el doble de importante que "C", de lo que se desprende que "A" debe ser cuatro veces más importante que "C". Si la comparación entre "A" y "C" se aleja mucho de 4, significa que los juicios no son muy consistentes. El autovalor máximo ( $\lambda_{\text{máx.}}$  de la ec. (3)) de la matriz de comparación es una medida de la consistencia de todos los juicios realizados. El cálculo de la consistencia de los juicios es función del cálculo del autovalor. El autovalor máximo de la matriz de comparación es igual a  $n$  en el caso que la matriz sea totalmente consistente. Este autovalor, aumenta a medida que aumenta la inconsistencia. Así pues, cuanto mayor es el autovalor mayor será la inconsistencia de los juicios realizados. Para calcular la consistencia o no de la matriz de comparación, se parte del concepto de Índice de consistencia (C.I.) y del Índice de consistencia aleatoria (R.I.). El índice de consistencia (C.I.), se define mediante la ecuación (4):

$$C.I. = \frac{\lambda_{\text{máx.}} - n}{n - 1} < 0,1 \quad (4)$$

donde  $\lambda_{\text{máx.}}$  es el autovalor máximo.

## 5. Resultados

El índice de consistencia aleatoria (R.I.) es la media de todos los índices de consistencia (C.I.) de una matriz de comparación generada de forma aleatoria. Sólo depende del tamaño de la matriz y toma los valores que se recogen en la tabla 6:

**Tabla 6:** Índice consistencia aleatoria

Tamaño de la matriz	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Índice de Consistencia (R.I.)	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

La relación de consistencia (C.R.) es la relación entre la consistencia de la matriz de comparación (C.I.) y la media de las consistencias de todas las matrices de comparación posibles de orden  $n \times n$  (R.I.; ec. (5)). Para que una matriz de comparación se considere consistente, el valor de C.R. no debe superar 0,1.

$$C.R. = \frac{C.I.}{R.I.} < 0,1 \quad (5)$$

### 5.1.1.5 Definición de las alternativas

Una vez adoptada la decisión a tomar, creado el árbol de toma de decisión con todas las funciones de valor y realizada la asignación de pesos, el paso siguiente consiste en definir las posibles alternativas que pueden presentarse para su posterior valoración. En algunos estudios, las alternativas ya han quedado definidas inicialmente y por ello esta no debe realizarse.

### 5.1.1.6 Valoración de las alternativas

Para obtener la valoración de las alternativas se debe, sucesivamente, valorar los indicadores, criterios y requerimientos. Los indicadores son los únicos aspectos que son valorados directamente. La forma como se realiza la valoración de indicadores, criterios y requerimientos, es la siguiente:

1. Valoración de indicadores: la valoración de los indicadores se obtiene a partir de la función de valor y la cuantificación de cada alternativa en el indicador estudiado. La cuantificación de la alternativa es la abscisa del punto de la función de valor, cuya ordenada, es la valoración del indicador para esa alternativa.
2. Valoración de criterios: tal como se muestra en la ecuación (6), la valoración de criterios se obtiene a partir de las valoraciones de los  $n$  indicadores pertenecientes a ese mismo criterio multiplicado por sus pesos.

$$V_{\text{Criterio}} = \sum_{i=1}^n V_{\text{indicador}} \times \text{Peso}_{\text{indicador}} \quad (6)$$

3. Valoración de requerimientos: se realiza de forma análoga a la valoración de los criterios,

## 5. Resultados

como el sumatorio de las valoraciones de los  $n$  criterios pertenecientes a ese mismo requerimiento multiplicado por sus pesos (ec (7)):

$$V_{\text{Requerimiento}} = \sum_{i=1}^n V_{\text{Criterio}} \times \text{Peso}_{\text{criterio}} \quad (7)$$

4. Índice de valor de las alternativas: la valoración de las alternativas se obtiene sumando las valoraciones de los  $n$  requerimientos multiplicados por sus pesos (ec (8)):

$$V_{\text{Alternativa}} = \sum_{i=1}^n V_{\text{Requerimiento}} \times \text{Peso}_{\text{requerimiento}} \quad (8)$$

### 5.1.1.7 Programa Informático

El equipo de desarrollo de la metodología MIVES ha materializado este desarrollo en una aplicación informática, de acceso para descarga a través de la web del Departamento de Ingeniería Civil y ambiental de la Universidad Politécnica de Cataluña (<https://deca.upc.edu/es/proyectos/mives/descargas>). El programa ha recibido varias actualizaciones, siendo la versión más actual la versión 2.1.1. fechada en octubre de 2016, tal como se puede observar en la figura 23, que recoge la pantalla de acceso a la página web en la que se ofrece el programa para su descarga.



Figura 23: página de acceso público para descarga de la herramienta informática MIVES

## 5. Resultados

La herramienta informática consta de tres módulos, cuyas carátulas de entrada se presentan en la figura 24:



**Figura 24:** interfaces de acceso de los tres módulos de la herramienta MIVES v2.1.1

1. Modulo Programador. Es el módulo en el que se configura el modelo completo: se construye el árbol jerárquico, se definen las funciones de valor para los indicadores y se asignan los pesos en los diferentes niveles. El módulo, de uso muy claro e intuitivo, tiene algunos aspectos que lo hacen especialmente amigable y útil:

- La posibilidad de definir funciones de valor en las diferentes formas indicadas en este apartado: lineales, cóncavas, convexas, en forma de “S”.
- También la posibilidad de valorar directamente atributos, en lugar de incluir funciones de valor.
- Para la asignación de pesos, permite seguir la metodología AHP, llevando a cabo la comparación por pares, o bien dar pesos porcentuales a cada atributo, totalizando el 100% en cada nivel.
- En el caso de utilizar AHP, la herramienta calcula los índices de consistencia y, en caso de detectar una inconsistencia, propone una alternativa de matriz que, sobre la inicial, introduce las variaciones en algunas comparaciones que aseguran la consistencia perfecta. Esto permite, de una manera sencilla, revisar incoherencias que se hayan cometido en las valoraciones por pares. Esta herramienta es especialmente útil cuando el número de factores a comparar es elevado (superior a cuatro), donde es más fácil perder la referencia entre las comparaciones por pares.

2. Modulo Usuario. En este módulo el usuario de la herramienta que la va a utilizar para llevar a cabo una evaluación y valoración de una o varias alternativas, en primer lugar define las alternativas a valorar y a continuación introduce los valores de valoración de cada indicador para cada una de las alternativa definidas. A partir del valor introducido, con las funciones de valor definidas en el módulo programador el sistema va realizando los cálculos por niveles, para obtener los valores normalizados en cada atributo, y finalmente el índice total.

3. Modulo Reporte: A partir de los valores introducido en el módulo usuario, con las funciones de valor y pesos definidos en el módulo programador el sistema va

## 5. Resultados

realizando los cálculos por niveles, para obtener los valores normalizados para cada atributo, cada nivel y, finalmente, el índice global calculado para cada alternativa. El módulo reporte permite representar, en diferentes formatos (tablas, gráficas) y diferentes combinaciones (indicadores, criterios, requerimientos, índice global) el resultado de cada una de las alternativas evaluadas, y la comparativa entre ellas.

### **5.2 Fase de caracterización y diseño**

Tal como se ha presentado en la figura 20 del apartado 4.2, se ha denominado Fase de Caracterización y Diseño a la primera fase de la investigación, cuyo resultado es la selección y clasificación de los factores que configuran el árbol jerárquico sobre el que se desarrolla, en las siguientes fases, el modelo MIVES y la posterior valoración de los casos de estudio, dando respuesta a los objetivos operativos 1, 2 y 3: identificación y selección de los parámetros de caracterización de la tecnología; identificación y selección de los parámetros que caracterizan el impacto esperado; identificación y selección de los parámetros que caracterizan la adecuación de la tecnología al escenario de desarrollo (capacidades y características del centro tecnológico y sus clientes).

De manera introductoria, previa la descripción en detalle de las mismas, las actividades en las que se ha estructurado esta fase son las siguientes:

#### Actividad 1: Análisis de la Literatura Científica.

Con el objetivo de elaborar una primera versión del esquema de relaciones y árbol jerárquico de decisión del modelo multivariable. A partir de la literatura científica, en particular la relacionada con los métodos de toma de decisión multicriterio, se ha realizado una primera selección de factores de caracterización del modelo.

#### Actividad 2: Selección de panel de expertos

Como se representa en la figura 20, las actividades 2 y 3 se llevan a cabo siguiendo el método Delphi adoptado también por MIVES. La primera actividad incluida en Delphi es la configuración del panel de expertos.

#### Actividad 3: Selección de factores de configuración

Siguiendo el método Delphi, partiendo de los factores clave seleccionados en la actividad 1, revisión de la literatura, el panel de expertos trabaja en la selección de factores, siguiendo los criterios de número de factores que recomienda MIVES, para proporcionar la estructura y composición el árbol jerárquico definitivo a completar en MIVES en la fase siguiente.

#### **5.2.1 Análisis de la literatura científica.**

El análisis de la literatura científica para llevar a cabo la primer selección de factores clave para la configuración del modelo MIVES se ha llevado a cabo siguiendo una aproximación que se ajusta a un “*semi-systematic literature review*” (Snyder, 2019; Wong et al., 2013). El enfoque de

## 5. Resultados

---

revisión semi-sistemática habitualmente se aplica en el análisis de temas que han sido conceptualizados de manera diferente y estudiados por diversos grupos de investigadores dentro de diversas disciplinas, de manera que se dificulta un proceso de revisión sistemática completo. O en el caso de que no se considere necesario revisar completamente cada artículo que podría ser relevante para el tema simplemente, por lo que se debe desarrollar una estrategia diferente. Además del objetivo de una visión general de un tema, una revisión semi-sistemática a menudo examina cómo la investigación dentro de un campo seleccionado ha progresado a lo largo del tiempo o cómo se ha desarrollado un *topic* concreto a través de diferentes investigaciones. Estos métodos a menudo tienen similitudes con los enfoques utilizados en la investigación cualitativa en general. Por ejemplo, un análisis temático o de contenido (Braun y Clarke, 2006) es una técnica de uso común y se puede definir ampliamente como un método para identificar, analizar y notificar patrones en forma de temas dentro de un texto.

La metodología de análisis semi-sistemático habitualmente se completa con un análisis cualitativo, si bien hay excepciones. Es el caso de Borman y Dowling (2008) que utilizaron un método semiestructurado para la revisión bibliográfica, y lo combinaron con un enfoque de meta-análisis estadístico para el procesamiento de la información recopilada.

Este tipo de análisis se considera útil para identificar *topics*, perspectivas teóricas o temas comunes dentro de una disciplina o metodología de investigación específica o para identificar componentes de un concepto teórico (Ward et al., 2009). Una característica que lo hace valorado es la capacidad para mapear un campo de investigación, sintetizar el estado del conocimiento y poder marcar unas pautas para una investigación adicional o la capacidad de proporcionar una visión general histórica o una cronología de un tema específico.

En el caso de esta tesis el ajuste a esta metodología proviene del hecho que el análisis de la literatura que se lleva a cabo en esta fase de la investigación no tiene como objetivo analizar en profundidad y detalle las contribuciones científicas, sino identificar dentro de ellas los factores, parámetros, aspectos clave señalados por los diferentes autores. Esta revisión bibliográfica tiene en esta fase un carácter totalmente inclusivo en esa identificación de factores. Posteriormente, los factores identificados serán propuestos para su análisis, clasificación, agrupación y filtrado al panel de expertos.

Siguiendo esta metodología, los mecanismos y criterios bajo los que se ha realizado el análisis de la literatura científica se describen a continuación:

1. La búsqueda se llevó a cabo en las bases de datos científicas más utilizadas: Web of Science (prioritariamente), Scopus, Google Scholar, Engineering Village.
2. Los términos de búsqueda se fueron variando, desde la combinación más restrictiva y focalizada hacia la más amplia, a partir de los términos "*technology assessment*", "*technology evaluation*", "*technology selection*", "*technology ranking*", "*technology classification*", "*manufacturing*", "*industry*", "*academy*" "*university*", "*public*"

## 5. Resultados

---

*administration* “RTO”, “R&D centre”, “technology centre” “research”, “factors”, “parameters”, “indicators”, “MCDM”, “method”.

3. La combinación más restrictiva centra la búsqueda en la selección (entiéndase aquí el abanico de términos análogos: selección, evaluación, clasificación, comparación) de tecnología en RTOs del sector Manufacturing, para abrir, sucesivamente a otras entidades (academia, universidad, administraciones públicas, industria) y posteriormente a cualquier sector de aplicación, en búsquedas que no incluían este aspecto.
4. Complementariamente, la revisión bibliográfica presentada en el capítulo 2, también ha sido una fuente de información valiosa, que ha servido para complementar y corroborar factores a incluir en la primera selección, así como para aportar criterios a la hora de plantear la posterior estructura que, a partir de los cuestionarios y la aportación del panel de expertos, da forma al árbol jerárquico.

En este sentido, en particular los factores clave y factores de éxito que identifican los diferentes autores en la relación entre agentes de investigación y empresas (apartado 2.3.2), los factores determinantes de la capacidad de absorción de las empresas (apartado 2.4.3) y los factores de medición de la capacidad de absorción (apartado 2.4.4) han sido también recogidos y analizados en este proceso.

5. A partir de la recogida de datos “en bruto”, esto es, con la terminología literal de los factores utilizada por los autores, se ha llevado a cabo una agrupación de los términos análogos, para hacer un primer filtro, que facilite la labor posterior del panel de expertos. No debe olvidarse que el propio método MIVES recomienda un número no excesivamente elevado de elementos (requerimientos, criterios e indicadores) en el árbol jerárquico (Viñolas et al., 2009). Por ello, sin eliminar factores, en esta primera selección se han agrupado aquellos con significado análogo, en torno a los potenciales indicadores a evaluar de cara a su inclusión en el árbol jerárquico.
6. El análisis de la bibliografía ha facilitado también llevar a cabo una primera estructuración de los factores, proporcionando una orientación hacia la configuración del árbol jerárquico. Así, se han indicado los tres posibles requerimientos: características de la tecnología, características del centro tecnológico, características de los potenciales clientes. Cada uno de ellos se acompaña (tabla 7, tabla 8 y tabla 9) de los potenciales criterios e indicadores.

En este punto es interesante hacer una aclaración sobre la terminología utilizada en la estructuración de los factores obtenidos en la revisión de la literatura, los cuestionarios posteriormente trabajados con el panel de expertos y el modelo MIVES:

1. El primer nivel, que en este apartado lo configuran las cabeceras o títulos de las tres tablas, esto es: “factores asociados a las características de la tecnología”, “factores asociados a las características del dentro tecnológico” y “factores asociados a las



## 5. Resultados

características de los clientes del centro tecnológico”, en el modelo MIVES son los requerimientos, en el primer nivel jerárquico.

2. Los factores o aspectos clave identificados por los autores en la literatura científica, se recogen en la columna “términos de la bibliografía” de las tablas 7, 8, y 9, tal como se denominan en los artículos analizados.
3. En las columnas “Área clave” y “Factor clave” se comienza a ordenar y agrupar esta información “en bruto” orientándola a configurar la estructura jerárquica:
  - a. Las “áreas clave” de las tablas, en el modelo MIVES se denominan criterios, en el segundo nivel jerárquico.
  - b. Los “factores clave” de las tablas, en el modelo MIVES serán los indicadores, tercer nivel jerárquico.
4. En el apartado 5.2.2. de construcción del árbol jerárquico a partir del trabajo del panel de expertos, el cuestionario que se traslade a los expertos se utilizarán las denominaciones “nivel 1”, “nivel 2”, nivel 3” para evitar confusiones innecesarias con la terminología.

Una vez realizada esta aclaración, en los apartados siguientes se detallan los factores identificados en el análisis de la literatura científica.

### 5.2.1.1 Factores asociados a las características propias de la tecnología

La tabla 7 recoge los factores más referidos en la literatura acerca de las características de una tecnología.

**Tabla 7:** Factores asociados a las características propias de la tecnología

Área Clave (potencial criterio MIVES)	Factor clave (potencial indicador MIVES)	Términos de la bibliografía	Autores
Madurez	TRL-ciclo desarrollo	Position of the technology in its own life-cycle, Fundamental research, Advanced research, Engineering research, Advancement of technology, Technology Maturity	(Mohanty et al., 2005), (Davoudpour et al., 2012), (Shen et al., 2010), (Farooq y O'Brien, 2015), (Ordoobadi, 2012)
	Nivel de novedad	Innovation of technology	(Shen et al., 2010), (Ordoobadi, 2012), (Anand y Kodali, 2009), (Ma et al., 2013)
Relevancia	Competitividad, valor añadido	Competitiveness of Technology, Added value, Threat of substitution technologies, Relevance of technology	(Huang et al., 2008), (Davoudpour et al., 2012), (Ma et al., 2013)
	Alcance, potencial de extensión	Technological expandability, Technology supportability	(Ma et al., 2013), (Cho y Lee, 2013), (Huang et al., 2008), (Shen et al., 2010)

## 5. Resultados

Área Clave (potencial criterio MIVES)	Factor clave (potencial indicador MIVES)	Términos de la bibliografía	Autores
	Originalidad	Originality, Proprietary Technology, Imitability	(Cho y Lee, 2013), (Huang et al., 2008), (Ma et al., 2013)
	Patentabilidad	Patentability	(Cho y Lee, 2013)
	Relación con tecnologías disponibles	Technical interaction with existing products and technologies	(Mohanty et al., 2005), (Ordoobadi, 2012), (Shehabuddeen et al., 2006), (Tan et al., 2008), (Bayazit, 2005), (Huang et al., 2008), (Shen et al., 2010)
Mercado	Dimensión, atractivo	Potential market, Expected market share, Market attractiveness	(Mohanty et al., 2005), (Cho y Lee, 2013), (Cooper, 1984), (Shen et al., 2010), (Ma et al., 2013), (Huang et al., 2008), (Mishra et al., 2002), (Balbontin et al., 2000)
	Potencial de comercialización	Commercialization potential	(Ma et al., 2013)
	Barreras de mercado	Entry barriers	(Cho y Lee, 2013), (Zirger y Maidique, 1990), (Slater y Narver, 1998)
	Competencia	Market competition	(Cho y Lee, 2013), (Zirger y Maidique, 1990), (Slater y Narver, 1998), (Mohanty et al., 2005), (Jain et al., 2010), (Clark, 2011), (Kafouros et al., 2020)
Regulación	Regulación legal	Legal regulation, Government policy	(Cho y Lee, 2013), (Mohanty et al., 2005), (Farooq y O'Brien, 2015), (Davoudpour et al., 2012)
	Regulación seguridad	Safety considerations	(Mohanty et al., 2005), (Huang et al., 2008)
	Regulación medioambiental	Environmental policy	(Mohanty et al., 2005), (Huang et al., 2008), (Davoudpour et al., 2012)
Riesgos	Riesgos comerciales	Commercial risk	(Mohanty et al., 2005), (Shen et al., 2010)
	Riesgos Económicos	Economic risk	(Mohanty et al., 2005), (Shen et al., 2010)
	Riesgos Técnicos	Technical risk, Evidence of scientific feasibility	(Mohanty et al., 2005), (Shen et al., 2010), (Huang et al., 2008)

### 5.2.1.2 Factores asociados a las características del centro tecnológico

En este apartado cabe señalar que, tal como se ha relatado en la revisión bibliográfica, las referencias a la aplicación de métodos de selección en el caso de centros tecnológicos y agentes de investigación es mínima, por lo que la mayoría de los factores aquí incluidos son una traslación de los referidos para empresas industriales en los trabajos analizados.

**Tabla 8:** Factores asociados a las características del centro tecnológico

Área Clave (potencial criterio MIVES)	Factor clave (potencial indicador MIVES)	Términos de la bibliografía	Autores
Factor humano	Implicación	Motivation, Workers involvement	(Nouri et al., 2015b), (Bayazit, 2005)
	Impacto en empleados	Impact on employees	(Ordoobadi, 2012), (Anand y Kodali, 2009)

## 5. Resultados

Área Clave (potencial criterio MIVES)	Factor clave (potencial indicador MIVES)	Términos de la bibliografía	Autores
Capacitación	Experiencia previa	Competence and experience on similar projects	(Jain et al., 2010), (Mohanty et al., 2005), (Davoudpour et al., 2012), (Van den Bosch et al., 1999), (Todorova y Durisin, 2007),
	Disponibilidad de equipo I+D	Research staff availability	(Mohanty et al., 2005), (Escribano et al., 2009), (Kostopoulos et al., 2011), (Roberts et al., 2012), (Valentim et al., 2016)
	Capacitación técnica	Technical Ability, Experience of the R&D personnel, Capability of research team	(Farooq y O'Brien, 2015), (García-Valderrama et al., 2009), (Camisón y Forés, 2007), (Huang et al., 2008), (Escribano et al., 2009), (Kostopoulos et al., 2011), (Roberts et al., 2012), (Valentim et al., 2016)
Equipamiento	Disponibilidad de equipamiento	Facilities available, Usefulness of infrastructures	(Mohanty et al., 2005), (Schillaci et al., 2013), (García-Valderrama et al., 2009)
	Valor del equipamiento	Value of laboratories, Value of equipment	(Davoudpour et al., 2012), (Schillaci et al., 2013)
Estrategia	Alineación con estrategia	Strategy alignment, Synergy with base business, Synergy with base business	(Davoudpour et al., 2012), (Mohanty et al., 2005), (Ordoobadi, 2012), (Shehabuddeen et al., 2006), (Tan et al., 2008), (Huang et al., 2008), (Camisón y Forés, 2007), (Cho y Lee, 2013), (Cooper, 1984), (Cooper, 1988), (Im y Workman Jr., 2004), (Zirger y Maidique, 1990), (Montoya-Weiss y Calantone, 1994)
	Orientación a la innovación	Innovation strategies & initiatives	(Jain et al., 2010), (Farooq y O'Brien, 2015)
	Implicación de la dirección	Top management commitment	(Bayazit, 2005), (Ordoobadi, 2012), (Anand y Kodali, 2009), (Cho y Lee, 2013), (Balachandra et al., 1996), (Bastic, 2004), (Souder y Song, 1998)
Costes	Factor financiero	Financial dimension-capita, Financial factors	(Anand y Kodali, 2009), (Nouri et al., 2015b), (Ordoobadi, 2012), (Bayazit, 2005), (Farooq y O'Brien, 2015), (Shehabuddeen et al., 2006)
	Coste de desarrollo	Cost of operation, Reasonableness for research cost	(Anand y Kodali, 2009), (Bayazit, 2005), (Braglia et al., 2006), (Huang et al., 2008), (Kocoaglu et al., 2001), (Ordoobadi, 2012), (Shehabuddeen et al., 2006), (Tan et al., 2008), (Yurdakul, 2002)
Timing	Plazos de Desarrollo	Implementation lead-time, Reasonableness for research period	(Bayazit, 2005), (Bernroider y Koch, 2001), (Braglia et al., 2006), (Huang et al., 2008), (Kocoaglu et al., 2001), (Ordoobadi, 2012), (Shen et al., 2010)
Satisfacción del cliente	Satisfacción del cliente	Customer satisfaction, Impact on customers	(Anand y Kodali, 2009), (Bayazit, 2005), (Bernroider y Koch, 2001), (Dhavale, 1995), (García-Valderrama et al., 2009), (Ordoobadi, 2012)
Beneficios	Incremento de volumen de negocio	Perceived benefit, Increased profits, Increased sales	(Anand y Kodali, 2009), (Ordoobadi, 2012), (García-Valderrama et al., 2009)
	Acceso a nuevos mercados	Increased market share, Span of applications opened by technology,	(García-Valderrama et al., 2009), (Davoudpour et al., 2012)
Posicionamiento	Competitividad y marca	Competitive advantage, Improved positioning, Contribution to brand value	(Bayazit, 2005), (Cho y Lee, 2013), (Ordoobadi, 2012), (Tonge et al., 2000), (García-Valderrama et al., 2009)

## 5. Resultados

Área Clave (potencial criterio MIVES)	Factor clave (potencial indicador MIVES)	Términos de la bibliografía	Autores
	Propiedad intelectual	Intellectual Property Potential, Patents	(Farooq y O'Brien, 2015), (García-Valderrama et al., 2009)
	Capacidad tecnológica	Improvement on research capability, contributions to the state of Knowledge, Value creation	(Huang et al., 2008), (Cho y Lee, 2013)

### 5.2.1.3 Factores asociados a las características de los clientes del centro tecnológico

La tabla 9 recoge los factores más referidos en la literatura acerca de las características de una tecnología.

**Tabla 9:** Factores asociados a las características de los clientes del centro tecnológico

Área Clave (potencial criterio MIVES)	Factor clave (potencial indicador MIVES)	Término de la bibliografía	Autores
Estrategia	Alineación con la estrategia	Strategy alignment, Synergy with base business,	(Huang et al., 2008), (Mohanty et al., 2005), (Ordoobadi, 2012), (Shehabuddeen et al., 2006), (Cho y Lee, 2013), (Cooper, 1984, 1988), (Im y Workman Jr., 2004), (Montoya-Weiss y Calantone, 1994), (Zirger y Maidique, 1990)
	Estrategia Tecnológica	Technology Strategy, Innovation strategies & initiatives	(Farooq y O'Brien, 2015), (Jain et al., 2010)
	Implicación de la dirección	Top management commitment	(Anand y Kodali, 2009), (Balachandra et al., 1996), (Bastic, 2004), (Bayazit, 2005), (Cho y Lee, 2013), (Ordoobadi, 2012), (Souder y Song, 1998)
Capacitación	Capacitación del equipo técnico	Staff technical qualification, Experience of the R&D personnel, Capability of research team	(Spanos y Voudouris, 2009), (Grimpe y Sofka, 2009), (Farooq y O'Brien, 2015), (García-Valderrama et al., 2009), (Camisón y Forés, 2007), (Huang et al., 2008), (Escribano et al., 2009), (Kostopoulos et al., 2011), (Roberts et al., 2012), (Valentim et al., 2016)
	Experiencia previa	Competence and experience on similar projects	(Jain et al., 2010), (Mohanty et al., 2005), (Davoudpour et al., 2012), (Van den Bosch et al., 1999), (Todorova y Durisin, 2007),
	Capacidades de I+D	Research staff availability	(Mohanty et al., 2005), (Escribano et al., 2009), (Kostopoulos et al., 2011), (Roberts et al., 2012), (Valentim et al., 2016), (Cassiman y Veugelers, 2002),

## 5. Resultados

Área Clave (potencial criterio MIVES)	Factor clave (potencial indicador MIVES)	Término de la bibliografía	Autores
Costes	Costes de desarrollo	Financial dimension- implementation, Cost of operation, Risk for development cost	(Anand y Kodali, 2009), (Bayazit, 2005), (Braglia et al., 2006), (Farooq y O'Brien, 2015), (Nouri et al., 2015b), (Kocoaglu et al., 2001), (Ordoobadi, 2012), (Shehabuddeen et al., 2006), (Tan et al., 2008), (Yurdakul, 2002), (Huang et al., 2008)
	Costes de comercialización	Commercialization cost	(Cho y Lee, 2013), (Cooper, 1984, 1988), (Huang et al., 2004)
Timing	Tiempo de implementación	Long implementation lead-time	(Bayazit, 2005), (Bernroider y Koch, 2001), (Braglia et al., 2006), (Huang et al., 2008), (Kocoaglu et al., 2001), (Ordoobadi, 2012), (Shen et al., 2010), (Yurdakul, 2002)
	Plazo de comercialización	Expected time to commercialization	(Cho y Lee, 2013), (Cooper, 1984, 1988), (Huang et al., 2004)
Productividad	Mejora de productividad	Productivity, Performance Enhancement	(Nouri et al., 2015b), (Farooq y O'Brien, 2015), (Ordoobadi, 2012), (Tonge et al., 2000)
Beneficios	Incremento de volumen de negocio	Perceived benefit, Increased profits, Increased sales	(Anand y Kodali, 2009), (Ordoobadi, 2012), (Cho y Lee, 2013), (Cooper, 1984), (García-Valderrama et al., 2009), (Huang et al., 2004)
	Acceso a nuevos mercados	Increased market share, New market potential, Span of applications opened by technology	(García-Valderrama et al., 2009), (Huang et al., 2008), (Shen et al., 2010), (Davoudpour et al., 2012)
Posicionamiento competitivo	Competitividad y marca	Competitive advantage, Value creation, Contribution to brand value	(Ordoobadi, 2012), (Tonge et al., 2000), (Cho y Lee, 2013)
	Propiedad Intelectual	Patents	(García-Valderrama et al., 2009)

### 5.2.2 Aplicación de Delphi con el panel de expertos

Para construir el árbol jerárquico del modelo MIVES se va a aplicar el método Delphi con un panel de expertos configurado en diferentes dimensiones y niveles de involucración, de manera que partiendo de la propuesta de requerimientos, criterios e indicadores obtenida de la revisión de la literatura (tabla 7, tabla 8, tabla 9) se lleve a cabo la selección final de factores y la estructuración del árbol jerárquico.

El método Delphi fue creado en la *Research and Development Corporación* (RAND Corporation) en la década de 1950, si bien las primeras publicaciones al respecto son posteriores (Dalkey, 1969, 1972; Dalkey y Helmer, 1963; Helmer, 1966). El primer artículo referido presenta una investigación que pretende obtener consenso entre diversas opiniones de un grupo de expertos que se someten a una serie de cuestionarios en profundidad, intercalados con retroalimentación controlada de sus opiniones (Dalkey y Helmer, 1963). Tal como se apunta ya en el citado primer trabajo, el método se basa en el principio de la inteligencia colectiva, que trata de lograr un consenso de opiniones expresadas de forma individual por un grupo de personas seleccionadas cuidadosamente como expertos calificados

## 5. Resultados

en torno al tema analizado, por medio de la iteración sucesiva de un cuestionario retroalimentado de los resultados de la ronda anterior (Linstone y Turoff, 1975, 2002). La técnica, que originalmente tenía un enfoque predictivo sobre situaciones futuras posibles (de ahí su nombre, relacionado con el oráculo de Delfos, (Marchais-Roubelat y Roubelat, 2011)), ha ido evolucionando a una aplicación en la identificación y priorización de preferencias o soluciones a problemas prácticos por parte de un grupo de expertos (Kennedy, 2004; Linstone y Turoff, 2002).

Los aspectos principales que caracterizan el método son:

1. Es un proceso iterativo: consistente en la realización de rondas sucesivas de consultas para que los participantes proporcionen y revisen sus opiniones, habitualmente a través de un cuestionario elaborado de acuerdo con los objetivos de la investigación.
2. Requiere retroalimentación: los expertos reciben las valoraciones de todos los participantes antes de cada ronda, para contrastar sus criterios con los del resto del grupo y ofrecer nuevamente su juicio. Sobre el número de rondas de retroalimentación, habitualmente se limita a dos, en algunas ocasiones a tres y raramente a más (Steurer, 2011). El proceso puede extenderse durante varias iteraciones, pero a partir de la tercera los resultados se estabilizan no produciéndose avances posteriores (Worthen y Sanders, 1987) y, por el contrario, generándose un riesgo de pérdida de involucración de los expertos (Cabero Almenara y Infante, 2014).
3. Requiere del anonimato para las respuestas individuales. En el proceso de retroalimentación los expertos conocen todas las valoraciones, pero se guarda la confidencialidad sobre la procedencia. De esta manera se trata de evitar influencias que puedan condicionar la independencia de las valoraciones de los expertos.
4. La selección de los expertos es importante para el éxito del proceso ya que el método tiene una orientación cualitativa basada en la calidad de los expertos. Si bien, sobre el término "experto" se ha abierto un campo de investigación en sí mismo (Baker et al., 2006; Mckee et al., 1991), con trabajos que llegan a definir complejos procesos para la valoración de los candidatos (Bravo Estévez y Arrieta Gallastegui, 2005), cabe concluir que la elección debe atender tanto a aspectos relacionados con las características individuales tales como conocimientos en la materia, formación, prestigio y capacitación (Kennedy, 2004; Steurer, 2011), como a criterios relacionados con la calidad y comportamiento global del panel, de manera que se cubran las áreas del problema a tratar desde los diferentes puntos de vista y factores que son clave, evitando un análisis parcial o desequilibrado. También en este ámbito hay diferentes puntos de vista, entre autores que defienden las ventajas de configurar grupos homogéneos (Duncan et al., 2004) y aquellos que postulan las ventajas de los grupos heterogéneos (Mullen, 2003; Powell, 2003). Algunos autores estructuran el panel global en grupos (Pawlowski, 2004), que evalúan diferentes dimensiones, de acuerdo con sus conocimientos específicos, o se distribuyen tareas en diferentes fases del proceso.

## 5. Resultados

Respecto al número de expertos a incluir en el panel, no hay normas específicas al respecto al número de participantes (López-Gómez, 2018; Steurer, 2011). En los inicios del método, algunos autores defendieron que un mayor número de expertos redundaba en la fiabilidad de las respuestas, la retroalimentación y el consenso y, por tanto el resultado (Dalkey, 1975), sin embargo, con el éxito y desarrollo posterior del método, se ha investigado específicamente acerca del número óptimo de expertos, sin llegar a resultados concluyentes, aplicables a todas las aplicaciones y usos del Delphi (Galanc y Mikuš, 1986). Atendiendo a la mayoría de investigadores, se puede establecer un rango entre 7 y 30 expertos (Landeta, 1999; Ludwig, 1997), con un buen número de autores limitándolo a un rango entre 8 y 15 expertos (Boje y Murnighan, 1982; Delbecq et al., 1986; Linstone y Turoff, 2002),

5. El proceso iterativo retroalimentado debe tener como propósito la construcción de un consenso: este es un acuerdo general de grupo a partir del procesamiento de las diferencias y coincidencias entre las apreciaciones individuales y sus actualizaciones a través de las sucesivas rondas.

A continuación se describe el proceso seguido en este trabajo de investigación, aplicando el método Delphi, para la configuración del árbol jerárquico, dentro de la metodología MIVES.

### **5.2.2.1 Configuración del panel de expertos**

La selección del panel de expertos de este trabajo de investigación se ha realizado atendiendo a varios criterios que tratan de buscar un compendio de conocimiento y visión del escenario de investigación, desde las diferentes perspectivas (centro y empresa), experiencia y carrera profesional. La configuración del panel equipo se ha llevado de manera progresiva:

1. Atendiendo a los criterios identificados en la literatura, se plantea configurar un panel formado por entre 10 y 15 expertos.
2. Se realiza una primera selección de 28 expertos, bajo la siguiente estructura:
  - Ocho investigadores de centros tecnológicos del entorno geográfico, que ocupan puestos directivos en sus respectivos centros. Los centros a los que pertenecen son multidisciplinares, siendo el Manufacturing uno de sus principales ámbitos de actuación.
  - Cuatro investigadores, con responsabilidad directiva, de centros tecnológicos europeos del sector del Manufacturing.
  - Ocho directores de I+D de empresas del sector del Manufacturing: 2 de ellos de empresas de máquinas herramienta y 2 de empresas usuarias de máquina herramienta. 2 de ellos de ellos de grandes empresas y 2 de PYMEs.
  - Cuatro técnicos de entidades de gestión y promoción de la innovación con carácter sectorial-geográfico.

## 5. Resultados

---

- Cuatro profesores e investigadores del entorno geográfico, referentes científico-técnicos en el área de la fabricación.

Se contacta y envía el cuestionario a la mitad de ellos (14) y en los casos en que no se identifica la posibilidad de colaboración, se contacta con los siguientes candidatos del mismo perfil, configurando finalmente el panel de 14 expertos: 4 investigadores de centros tecnológicos del entorno, 2 investigadores de un centro tecnológico extranjero, 4 directivos de empresas, 2 técnicos de entidades de promoción de la innovación y 2 profesores-investigadores de universidad.

### **5.2.2.2 Selección de factores para el modelo. Cuestionario y proceso iterativo Delphi**

La selección de los factores para el modelo definitivo se lleva a cabo a través del trabajo con el panel de expertos, iniciado con la cumplimentación de un primer cuestionario y la evolución iterativa hacia el consenso.

El cuestionario, que se recoge en figura 25, figura 26 y figura 27, y en el Anexo, se traslada a los expertos en su primera versión más abierta, con la que se pretende hacer un primer ranking de factores y también una criba, ya sea eliminando factores que no se consideren relevantes o adecuados o bien por la fusión de varios factores. Se presenta en forma de tabla en la que se incluye la propuesta de estructura de árbol jerárquico, con los requerimientos, criterios e indicadores propuestos, (presentados anteriormente en tabla 7, tabla 8, tabla 9).

Como se ha indicado en el apartado anterior, el Nivel 1 corresponderá en el modelo MIVES a los requerimientos, el Nivel 2 a los criterios y el Nivel 3 a los indicadores.

Se acompañan los factores de una breve descripción de los mismos y se plantea a los expertos la tarea siguiente:

1. La validez de los tres factores del Nivel 1: factores de la tecnología, factores del centro tecnológico y factores de las empresas cliente se contrasta a través de una pregunta directa sobre si se consideran adecuadas o se propone eliminar alguna o incluir alguna dimensión adicional.
2. Para los niveles 2 y 3, se solicita valorar en cada nivel la relevancia que otorga a cada factor, valorándolos en orden de prioridad (1,2,3...), permitiendo además otorgar el mismo valor a varios factores. Se recomienda no puntuar aquellos factores que se consideran no adecuados.
3. Adicionalmente, en cada nivel se plantean tres preguntas: “¿eliminaría algún factor?”, “¿fusionaría en uno único varios factores?”, “¿añadiría algún factor nuevo?”. Estas cuestiones se completan con una casilla en la que se da la oportunidad de explicar estas respuestas.



## 5. Resultados

NIVEL 1	NIVEL 2	Valoración	NIVEL 3	Valoración	
FACTORES PROPIOS DE LA TECNOLOGÍA	MADUREZ		TRL - Ciclo de desarrollo		
			Nivel de novedad		
	RELEVANCIA			Competitividad, valor añadido	
				Alcance, potencial de extensión	
				Originalidad	
				Patentabilidad	
	MERCADO			Relación con tecnologías disponibles	
				Dimensión	
				Potencial de comercialización	
				Barreras de mercado	
				Competencia	
	REGULACION			Regulación legal	
				Regulación seguridad	
				Regulación medioambiental	
	RIESGOS			Riesgos comerciales	
Riesgos Económicos					
Riesgos Técnicos					

Eliminarías algún factor: cuál, por qué (opcional)		
Fusionarías algún factor: cuál, por qué (opcional)		
Añadirías algún factor nuevo: cuál, por qué (opcional)		

Breve descripción de cada factor
MADUREZ: representa el nivel de novedad o madurez que presenta la tecnología en el momento de ser evaluada. Se trata de representar por los factores TRL-ciclo de desarrollo, nivel de novedad.
RELEVANCIA: representa el valor añadido, competitividad, originalidad que presenta la tecnología frente a otras. Se representa por los factores competitividad-valor añadido, potencial de extensión (a diferentes áreas, productos, mercados), originalidad, patentabilidad, relación con tecnologías ya existentes
MERCADO: representa el atractivo del mercado en el que puede explotarse (o se está explotando) la tecnología, representado por su dimensión, las barreras de entrada, el acceso a comercialización y la competencia.
REGULACIÓN: representa los factores de regulación legal que pueden afectar (limitar) a la aplicación de la tecnología
RIESGOS: representa los riesgos inherentes a la aplicación de la tecnología: comerciales, económicos, tecnológicos

Figura 25: cuestionario ronda 1 Delphi. Factores de la tecnología

NIVEL 1	NIVEL 2	Valoración	NIVEL 3	Valoración	
FACTORES PROPIOS DEL CENTRO TECNOLÓGICO	FACTOR HUMANO		Implicación		
			Impacto en empleados		
	CAPACITACIÓN			Experiencia previa	
				Disponibilidad de equipo I+D	
	EQUIPAMIENTO			Capacitación técnica	
				Disponibilidad de equipamiento	
	ESTRATEGIA			Valor del equipamiento	
				Alineación con estrategia	
				Orientación a la innovación	
	COSTES			Implicación de la dirección	
Factor financiero					
TIMING			Coste de desarrollo		
			Plazos de Desarrollo		
SATISFACCIÓN DEL CLIENTE			Satisfacción del cliente		
BENEFICIOS			Incremento de volumen de negocio		
			Acceso a nuevos mercados		
POSICIONAMIENTO			Competitividad y marca		
			Propiedad intelectual		
			Capacidad tecnológica		

Eliminarías algún factor: cuál, por qué (opcional)		
Fusionarías algún factor: cuál, por qué (opcional)		
Añadirías algún factor nuevo: cuál, por qué (opcional)		

Breve descripción de cada factor
FACTOR HUMANO: interacción de la tecnología en las personas, en ambos sentidos: implicación e impacto
CAPACITACIÓN: representa la capacitación del equipo del CT para absorber y desarrollar las tecnologías a evaluar
EQUIPAMIENTO: representa la disponibilidad de equipamiento adecuado para el desarrollo de las tecnologías a evaluar
ESTRATEGIA: representa el encaje de la tecnología con la estrategia del centro
COSTES: representa la dimensión del coste que pueda implicar el desarrollo de la tecnología en el centro.
TIMING: representa la dimensión tiempo de desarrollo que se prevé requiera la SATISFACCIÓN DEL CLIENTE: representa el impacto que el desarrollo de la tecnología pueda acarrear en satisfacción para los clientes del centro.
BENEFICIOS: recoge los beneficios esperables, en cuanto a volumen de negocio y potencial de apertura de nuevos clientes y mercados.
POSICIONAMIENTO: representa el beneficio intangible de posicionamiento del centro y su competitividad.

Figura 26: cuestionario ronda 1 Delphi. Factores del centro tecnológico

NIVEL 1	NIVEL 2	Valoración	NIVEL 3	Valoración	
FACTORES PROPIOS DE LOS CLIENTES POTENCIALES	ESTRATEGIA		Alineación con la estrategia		
			Estrategia Tecnológica		
	CAPACITACIÓN			Implicación de la dirección	
				Capacitación del equipo técnico	
	EQUIPAMIENTO			Experiencia previa	
				Capacidades de I+D	
	COSTES			Medios de producción adecuados	
				Costes de desarrollo	
	TIMING			Costes de comercialización	
				Tiempo de implementación	
PRODUCTIVIDAD			Plazo de comercialización		
			Mejora de productividad		
BENEFICIOS			Incremento de volumen de negocio		
			Acceso a nuevos mercados		
POSICIONAMIENTO COMPETITIVO			Competitividad y marca		
			Propiedad intelectual		

Eliminarías algún factor: cuál, por qué (opcional)		
Fusionarías algún factor: cuál, por qué (opcional)		
Añadirías algún factor nuevo: cuál, por qué (opcional)		

Breve descripción de cada factor
ESTRATEGIA: representa el encaje de la tecnología con la estrategia de las empresas potenciales clientes del centro y receptoras de esa tecnología
CAPACITACIÓN: representa la capacitación del equipo de las empresas cliente para absorber e industrializar las tecnologías a evaluar
EQUIPAMIENTO: representa la disponibilidad en las empresas de los medios de producción para la implementación de la tecnología
COSTES: representa la dimensión del coste que pueda implicar el desarrollo, implementación y comercialización de la tecnología en las empresas cliente del centro.
TIMING: representa la dimensión tiempo de implementación y comercialización que se prevé requiera la tecnología evaluada
PRODUCTIVIDAD: representa la mejora de productividad esperable en las empresas cliente a partir de la industrialización y comercialización de la tecnología
BENEFICIOS: recoge los beneficios esperables, en cuanto a volumen de negocio y potencial de apertura de nuevos clientes y mercados.
POSICIONAMIENTO: representa el beneficio intangible de posicionamiento de las empresas cliente

Figura 27: cuestionario ronda 1 Delphi. Factores de los clientes potenciales

Tras recopilar los cuestionarios de la primera ronda, se analizan las puntuaciones otorgadas a los diferentes factores y los comentarios aportados por los expertos. Del análisis cualitativo de los cuestionarios se obtienen las siguientes propuestas para avanzar en la configuración de requerimientos, criterios e indicadores:

### 1. Valoración del nivel 1:

Se consolidan los tres requerimientos propuestos: factores propios de la tecnología,

## 5. Resultados

factores del centro tecnológico, factores de las empresas cliente. No hay propuestas de eliminación ni de inclusión de nuevos requerimientos. Cabe destacar la positiva valoración recibida por la inclusión de la dimensión factores de los clientes potenciales, tanto por parte de los expertos de empresa como de los expertos de agentes tecnológicos (centros y universidades).

### 2. Valoración de los factores propios de la tecnología:

La figura 28 resume las conclusiones del análisis de los cuestionarios completados por los expertos.

NIVEL 1	NIVEL 2	Valoración	NIVEL 3	Valoración	
FACTORES PROPIOS DE LA TECNOLOGÍA	MADUREZ		TRL - Ciclo de desarrollo		
			<del>Nivel de novedad</del>		
	RELEVANCIA			<del>Competitividad, valor añadido</del>	
				Alcance, potencial de extensión	
				Originalidad	
				Patentabilidad	
				<del>Relación con tecnologías disponibles</del>	
	MERCADO			Dimensión	
				<del>Potencial de comercialización</del>	
				<del>Barreras de mercado</del>	
				Competencia	
	<del>REGULACIÓN</del>			Regulación legal	
				Regulación seguridad	
				Regulación medioambiental	
RIESGOS			<del>Riesgos comerciales</del>		
			<del>Riesgos Económicos</del>		
			Riesgos Técnicos		

**Figura 28:** resultado de la primera ronda Delphi para los factores propios de la tecnología

- Se mantienen todos los criterios, excepto uno. Se propone eliminar el criterio de “regulación” y los indicadores incluidos en él, ya que recibe la valoración más baja y una mayoría de expertos proponen explícitamente eliminarlo al no considerar que la regulación, en general, vaya a presentarse como un factor limitante, salvo en casos particulares. Siendo un objetivo de la investigación que el modelo sea lo más universal posible, los factores que se considera sólo tendrán importancia en situaciones particulares se recomienda obviarlos, para no desvirtuar el modelo.
- En el criterio “madurez” varios expertos consideran que el indicador “nivel de novedad” no aporta valor respecto al indicador de “TRL-ciclo de desarrollo”, ni frente a “originalidad”, por lo que proponen eliminarlo. Se toma la decisión de proponer su eliminación al panel en la segunda ronda del proceso.
- En el criterio “relevancia”, el indicador “competitividad-valor añadido” se considerado que no es valor propio de la tecnología, sino que depende de su adaptación al centro y los clientes, y, se propone eliminarlo. Por su parte “relación con tecnologías disponibles” también se propone eliminar, ya que se considera poco claro, habiendo recibido comentarios contradictorios por parte de los expertos.

## 5. Resultados

- En el criterio “mercado”, los expertos de empresa proponen eliminar los indicadores “potencial de comercialización” y “barreras de mercado”. El primero consideran que está incluido en “potencial de extensión” y el segundo consideran que es más un factor asociado a las propias empresas. De hecho, como se verá a continuación, proponen incluir el criterio de “acceso al mercado” entre los factores del centro tecnológico y las empresas.

Por otra parte, proponen incluir un indicador que refleje el factor de nicho de especialización dentro del mercado, que representa una de las estrategias del sector del Manufacturing y la Máquina-Herramienta vascos.

- En el criterio “riesgos”, varias opiniones indican que los riesgos tecnológicos si son intrínsecos para la caracterización de la propia tecnología, mientras que los riesgos comerciales y económicos se valoran entre los factores del centro y las empresas. No es una opinión mayoritaria, por lo que se propone trasladar la decisión a la segunda ronda.

### 3. Valoración de los factores del Centro Tecnológico

La figura 29 resume las conclusiones del análisis de los cuestionarios completados por los expertos para la dimensión “factores internos del centro tecnológico”.

NIVEL 1	NIVEL 2	Valoración	NIVEL 3	Valoración
FACTORES PROPIOS DEL CENTRO TECNOLÓGICO	FACTOR HUMANO		Implicación	
	CAPACITACIÓN		Impacto en empleados	
			Experiencia previa	
			Disponibilidad de equipo I+D	
	EQUIPAMIENTO		Capacitación técnica	
			Disponibilidad de equipamiento	
	ESTRATEGIA		Valor del equipamiento	
			Alineación con estrategia	
			Orientación a la innovación	
	COSTES		Implicación de la dirección	
			Factor financiero	
	TIMING		Coste de desarrollo	
	SATISFACCIÓN DEL CLIENTE		Plazos de Desarrollo	
BENEFICIOS		Satisfacción del cliente		
		Incremento de volumen de negocio		
POSICIONAMIENTO		Acceso a nuevos mercados		
		Competitividad y marca		
		Propiedad intelectual		
	ACCESO AL MERCADO		Capacidad tecnológica	

**Figura 29:** resultado de la primera ronda Delphi para los factores del centro tecnológico

- Respecto a los criterios, hay una opinión mayoritaria sobre el hecho de que los criterios “satisfacción del cliente”, “beneficios” y “posicionamiento” no son factores que caractericen la toma de decisión sobre una tecnología, sino que son resultados derivados de la decisión. Por tanto, se decide eliminarlos de la estructura. Por otra parte, hay varias opiniones que no consideran relevante para esta decisión el criterio “factor humano”, y en particular, mayoritariamente, el indicador “impacto en los empleados”. Por ello, se plantea eliminar definitivamente

## 5. Resultados

---

este indicador, y se propondrá en la segunda ronda la eliminación del criterio.

Por el contrario, se propone, por parte de todos los expertos de empresa y varios de los agentes tecnológicos, incluir un criterio que haga referencia al acceso al mercado, en el que se valore la capacidad del centro para acceder a los potenciales clientes de la tecnología. Los comentarios de los expertos hacen referencia a que una tecnología puede ser muy atractiva para el centro, pero sus clientes o mercado potenciales ser lejanos o inaccesibles para él, con lo que el éxito de su adopción quedaría muy limitado. Se propone ratificar esta inclusión en la segunda ronda del proceso Delphi.

- Dentro del criterio “capacitación” se propone unánimemente eliminar el indicador “disponibilidad de equipo I+D”, porque se considera obvio en el caso de un centro tecnológico.
- Dentro del criterio “equipamiento” se pone en cuestión por varios expertos el indicador “valor del equipamiento” como un factor no claro y no determinante. Por tanto, se propondrá su eliminación en la segunda ronda.
- Dentro del criterio “estrategia”, de nuevo se pone unánimemente en cuestión el indicador “orientación a la innovación”, con lo que se elimina. Por otra parte, varios expertos consideran que el indicador “implicación de la dirección” puede entenderse incluido en el indicador “encaje con la estrategia”, entendiéndose que al estar la estrategia marcada por la dirección, un encaje positivo implica una involucración de la dirección y un encaje negativo conllevaría una oposición. Al no ser una propuesta mayoritaria, se propondrá en segunda ronda.
- En el criterio “costes” mayoritariamente no se considera relevante el indicador “factor financiero”, ya que se considera que es un factor que influirá igual para cualquier tecnología, sí siendo diferenciador el “coste de desarrollo” que implique una u otra tecnología.

## 5. Resultados

### 4. Valoración de los factores de los clientes potenciales

La figura 30 resume las conclusiones del análisis de los cuestionarios completados por los expertos para la dimensión “factores internos de los clientes del centro tecnológico”.

NIVEL 1	NIVEL 2	Valoración	NIVEL 3	Valoración	
FACTORES PROPIOS DE LOS CLIENTES POTENCIALES	ESTRATEGIA		Alineación con la estrategia		
			Estrategia Tecnológica		
	CAPACITACIÓN			Implicación de la dirección	
				Capacitación del equipo técnico	
				Experiencia previa	
	EQUIPAMIENTO			Capacidades de I+D	
				Medios de producción adecuados	
	COSTES			Costes de desarrollo	
				Costes de comercialización	
	TIMING			Tiempo de implementación	
				Plazo de comercialización	
		<del>PRODUCTIVIDAD</del>		Mejora de productividad	
		<del>BENEFICIOS</del>		Incremento de volumen de negocio	
		<del>POSICIONAMIENTO</del>		Acceso a nuevos mercados	
		<del>COMPETITIVO</del>		Competitividad y marca	
			Propiedad Intelectual		

**Figura 30:** resultado de la primera ronda Delphi para los factores de los clientes del centro.

- Respecto a los criterios, la valoración es paralela a la realizada para el centro tecnológico. De esta forma, se propone eliminar los criterios “productividad”, “beneficios” y “posicionamiento competitivo” porque se consideran resultados esperables y no factores que caracterizan la evaluación y decisión.
- Dentro del criterio “capacitación” varios expertos entienden que el indicador “capacidades de I+D” no aporta información añadida sobre los otros dos indicadores de ese criterio. Por tanto, se traslada a segunda ronda la decisión sobre su eliminación definitiva.
- Dentro del criterio “estrategia”, se propone fusionar en uno único “alineación con la estrategia” y “estrategia tecnológica”, habiendo también opiniones que proponen eliminar este segundo indicador. Por tanto, se propondrá mantener únicamente “encaje con la estrategia”. Y, de la misma forma que en la dimensión “factores del centro tecnológico”, se propone eliminar el indicador “implicación de la dirección”.

Para la segunda ronda del proceso y tras analizar las propuestas de modificación de los diferentes factores y teniendo en cuenta la recomendación del propio método MIVES de no incluir más de tres o cuatro ramificaciones y evitar un número de indicadores superior a 20 (Viñolas et al., 2009), se traslada a los expertos, a través de una segunda comunicación recogida en el Anexo B, una nueva propuesta de estructura jerárquica, tal como se presenta en la figura 31, que recoge este análisis, en los siguientes términos:

## 5. Resultados

FACTORES PROPIOS DE LA TECNOLOGÍA	MADUREZ	TRL - CICLO DE DESARROLLO
		RIESGO TECNOLÓGICO
	RELEVANCIA	ORIGINALIDAD
		POTENCIAL DE EXTENSIÓN
		PATENTABILIDAD
	MERCADO	DIMENSIÓN
FRAGMENTACIÓN		
COMPETIDORES		
FACTORES PROPIOS DEL CENTRO TECNOLÓGICO	FACTORES INTERNOS CENTRO TECNOLÓGICO	CAPACITACIÓN
		EQUIPAMIENTO
		ALINEAMIENTO CON ESTRATEGIA
		ACCESO AL MERCADO
		COSTES
		TIMING
FACTORES PROPIOS DE LOS CLIENTES POTENCIALES	FACTORES INTERNOS CLIENTES DEL CT	CAPACITACIÓN
		EQUIPAMIENTO
		ALINEAMIENTO CON ESTRATEGIA
		COSTES
		TIMING

**Figura 31:** Propuesta de estructura jerárquica ronda 2 Delphi

- Se trasladan las propuestas de eliminación de indicadores y criterios descritas en anteriormente y recogidas en figura 28, figura 29 y figura 30. Se acompaña la propuesta de la explicación de las opiniones del grupo.
- Del análisis de las diferentes propuestas y la recomendación del propio método de limitar el número de indicadores, se deriva una propuesta que se traslada a los expertos, de eliminar un nivel en el caso del centro tecnológico y las empresas, de manera que los criterios indicados en la ronda anterior son directamente los indicadores en el árbol final (figura 32).

Con alguna ligera interacción para aclarar criterios o explicar opiniones de otros expertos, en esta segunda ronda se alcanza el consenso, con lo que esta propuesta se convierte en el árbol jerárquico que se utilizará en el modelo MIVES, tal como se presenta en la figura 32. Al índice global que se obtendrá en la valoración de la tecnología como resultado de la aplicación del modelo se le ha denominado “Índice de Adopción de la Tecnología”, ya que será utilizado para la toma de decisión sobre la adopción o no de una nueva tecnología.

Para completar el proceso, sobre el esquema final, se solicita a los expertos que ponderen la importancia de los diferentes factores dentro de su misma categoría (esto es, los indicadores que derivan de un criterio, los criterios que derivan de un requerimiento). Esta ponderación se hace en forma de porcentaje, de forma que cada grupo sume 100. Esta ponderación será utilizada como referencia en la fase siguiente a la hora de llevar a cabo la asignación de pesos por comparación de pares según el método AHP dentro del modelo MIVES.

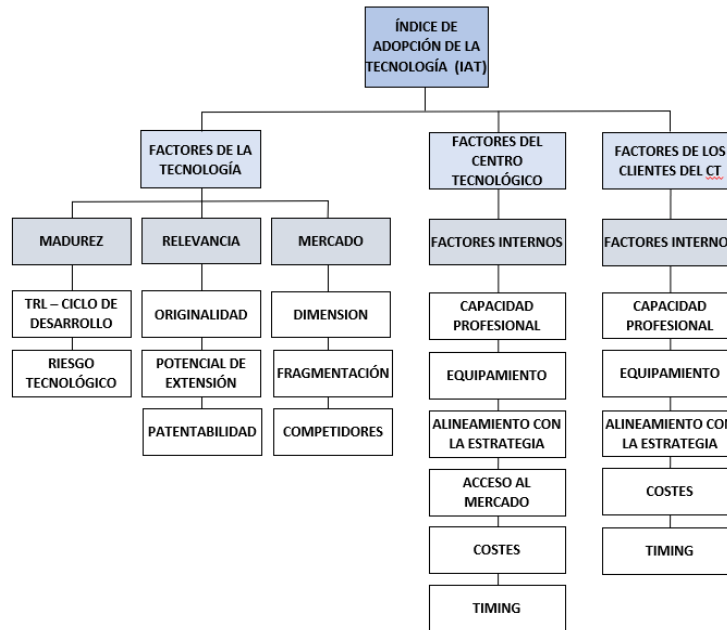


Figura 32: Árbol jerárquico definitivo a incluir en el modelo MIVES

### 5.3 Fase de Desarrollo

Tal como se ha descrito en el apartado 4.2.2, en la fase de desarrollo se ha completado el modelo MIVES, a partir del árbol jerárquico (figura 32) configurado en la fase previa de caracterización descrita en el apartado 5.2.

Para ello, en primer lugar se lleva a cabo la asignación de pesos a los factores en los diferentes niveles (requerimientos, criterios, indicadores), y posteriormente se valoran los indicadores, de manera que se dispone de la estructura de valoración de las alternativas en cada caso de uso.

#### 5.3.1 Asignación de pesos

La asignación de pesos tiene como objetivo la generación de un árbol jerárquico compensado, de forma que la suma de los pesos relativos de todos los factores dentro de su nivel sea el 100% (en el caso de un árbol de tres niveles como el de esta tesis, todos los indicadores derivados de un criterio, todos los criterios derivados de un requerimiento y todos los requerimientos). Para ello el método MIVES se basa en la comparación por pares definido en la metodología AHP, si bien como se ha indicado en la descripción de la herramienta informática, también proporciona la opción de valorar en base a la asignación directa de pesos, en forma de porcentajes que suman 100.

En este caso, se ha optado por aplicar la comparación por pares. Como se ha explicado en el apartado 5.1, la metodología AHP se basa en la comparación por pares dentro de cada bloque homogéneo (indicadores que derivan de un criterio, criterios que derivan de un requerimiento, requerimientos). El método (Saaty, 1980) proporciona una pauta para la realización de esta comparación, para determinar la importancia relativa entre cada dos factores, definiendo nueve niveles de comparación, desde “igual importancia”, que se traduce en valores 1 – 1 en las

## 5. Resultados

posiciones de la matriz de comparación que relacionan a los dos factores, hasta “absolutamente más importante”, que se traduce en valores 1 – 1/9 en las posiciones de la matriz.

Con esta comparación por pares como punto de partida, el proceso completo para la obtención de los pesos sigue tres pasos:

1. Elaboración de la matriz de comparación por pares, tal como se ha explicado en el párrafo anterior. Se obtiene una matriz cuadrada con tantas filas y columnas como factores se comparan (indicadores de un criterio, criterios de un requerimiento, requerimientos).
2. Cálculo del vector de prioridades o vector de pesos. Una vez obtenida la matriz de comparación por pares, se puede obtener el vector de pesos, tal como se ha explicado en el apartado 5.1.1.4.
3. Comprobación de la consistencia. La consistencia mide como el usuario ha caracterizado los indicadores a ponderar en la matriz, teniendo en cuenta la proporcionalidad de las preferencias (apartado 5.1.1.4). El análisis de la consistencia permite saber si la comparación por pares es adecuada y si se ha realizado de forma congruente. Tal como se ha indicado anteriormente, la aplicación informática MIVES dispone de una utilidad en la que además de proporcionar el índice de consistencia, y en caso de ser éste bajo, proporciona una alternativa de matriz consistente. Esta herramienta se muestra especialmente útil en las valoraciones de cuatro y más factores.

### 5.3.1.1 Asignación de pesos a los indicadores derivados del criterio “factores propios de la tecnología – madurez”

Los indicadores que caracterizan el criterio “madurez” son “TRL-ciclo de desarrollo” y “riesgo tecnológico”.

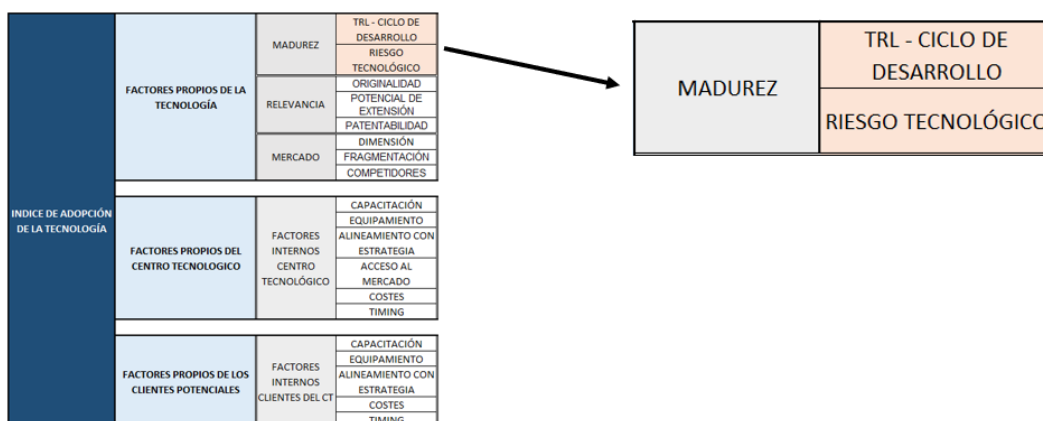


Figura 33: Esquema detalle de indicadores a comparar. Criterio “factores propios de la tecnología – madurez”

La matriz de comparación obtenida, el vector de pesos y los coeficientes de consistencia son los siguientes:



## 5. Resultados

**Tabla 10:** Matriz de comparación por pares y vector de pesos para los indicadores derivados del criterio “factores propios de la tecnología – madurez”

	TRL – ciclo de desarrollo	riesgo tecnológico	Vector (w)
TRL – ciclo de desarrollo	1,00	0,66	0,40
riesgo tecnológico	1,52	1,00	0,60

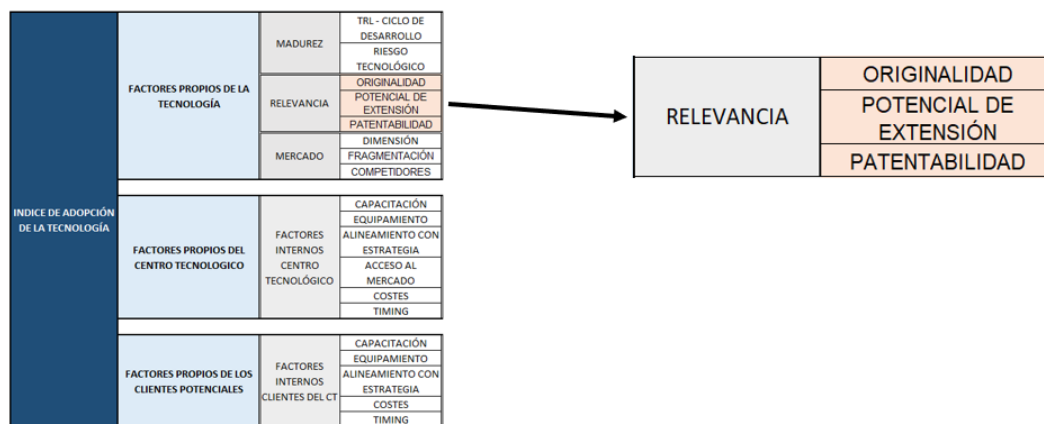
**Tabla 11:** análisis de consistencia para los indicadores derivados del criterio “factores propios de la tecnología – madurez”

C.I. – Índice de consistencia	0,00
R.I. – random index	0,00
C.R. – ratio de consistencia	0,00

Con este valor del ratio de consistencia (debe ser inferior a 0,1), se da por válida esta valoración.

### 5.3.1.2 Asignación de pesos a los indicadores derivados del criterio “factores propios de la tecnología – relevancia”

Los indicadores que caracterizan el criterio “relevancia” son “originalidad”, “potencial de extensión” y “patentabilidad”.



**Figura 34:** Esquema detalle de indicadores a comparar. Criterio “factores propios de la tecnología – relevancia”

La matriz de comparación obtenida, el vector de pesos y los coeficientes de consistencia son los siguientes:

**Tabla 12:** Matriz de comparación por pares y vector de pesos para los indicadores derivados del criterio “factores propios de la tecnología – relevancia”

	Originalidad	Potencial de extensión	Patentabilidad	Vector (w)
Originalidad	1,00	0,75	1,80	0,34
Potencial de extensión	1,33	1,00	3,00	0,49
Patentabilidad	0,56	0,33	1,00	0,17

## 5. Resultados

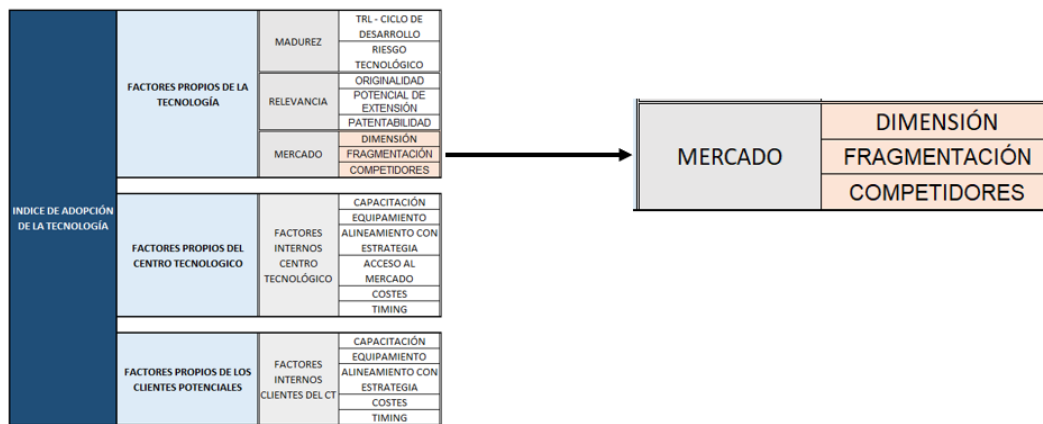
**Tabla 13:** Análisis de consistencia para los indicadores derivados del criterio “factores propios de la tecnología – relevancia”

C.I. – Índice de consistencia	0,07
R.I. – random index	0,58
C.R. – ratio de consistencia	0,08

Con este valor del ratio de consistencia (debe ser inferior a 0,1), se da por válida esta valoración.

### 5.3.1.3 Asignación de pesos a los indicadores derivados del criterio “factores propios de la tecnología – mercado”

Los indicadores que caracterizan el criterio “mercado” son “dimensión”, “fragmentación” y “competidores”.



**Figura 35:** Esquema detalle de indicadores a comparar. Criterio “factores propios de la tecnología – mercado”

La matriz de comparación obtenida, el vector de pesos y los coeficientes de consistencia son los siguientes:

**Tabla 14:** Matriz de comparación por pares y vector de pesos para los indicadores derivados del criterio “factores propios de la tecnología – mercado”

	Dimensión	Fragmentación	Competidores	
Dimensión	1,00	0,60	0,55	0,23
Fragmentación	1,67	0,60	0,60	0,29
Competidores	1,82	1,67	1,00	0,48

**Tabla 15:** Análisis de consistencia para los indicadores derivados del criterio “factores propios de la tecnología – mercado”

C.I. – Índice de consistencia	0,05
R.I. – random index	0,58
C.R. – ratio de consistencia	0,08

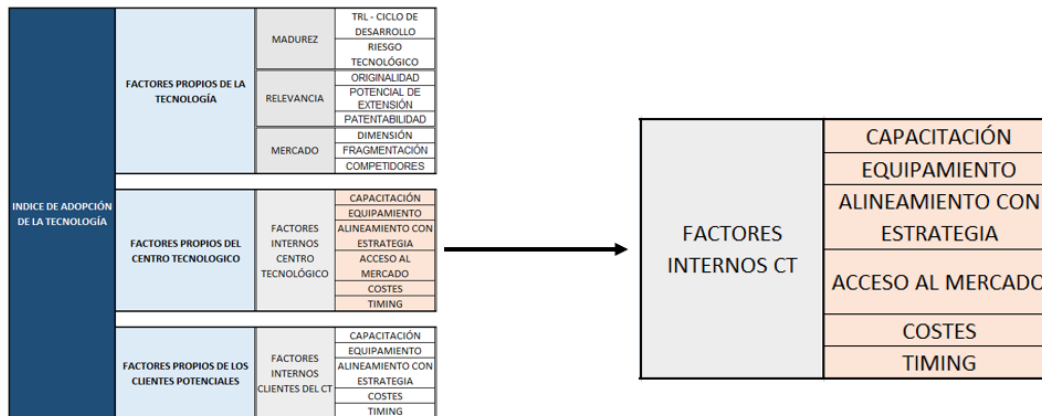
Con este valor del ratio de consistencia (debe ser inferior a 0,1), se da por válida esta

## 5. Resultados

valoración.

### 5.3.1.4 Asignación de pesos a los indicadores derivados del criterio “factores propios del centro tecnológico – factores internos”

Los indicadores que caracterizan el criterio “factores internos del centro tecnológico” son “capacitación”, “equipamiento”, “alineamiento con la estrategia”, “acceso al mercado”, “costes” y “timing”.



**Figura 36:** Esquema detalle de indicadores a comparar. Criterio “factores propios del centro tecnológico – factores internos”

La matriz de comparación obtenida, el vector de pesos y los coeficientes de consistencia son los siguientes:

**Tabla 16:** Matriz de comparación por pares y vector de pesos para los indicadores derivados del criterio “factores propios del centro tecnológico – factores internos”

	Capacit.	Equipam.	Alineam. con estrategia	Acceso al mercado	Costes	Timing	Vector (w)
Capacitación	1,00	2,00	0,55	0,80	1,20	2,00	0,17
Equipamiento	0,50	1,00	0,20	0,25	0,50	0,90	0,07
Alineamiento con estrategia	1,82	5,00	1,00	1,30	2,00	3,00	0,30
Acceso al mercado	1,25	4,00	0,77	1,00	1,80	2,00	0,23
Costes	0,83	2,00	0,50	0,56	1,00	1,10	0,13
Timing	0,50	1,11	0,33	0,50	0,91	1,00	0,10

**Tabla 17.** Análisis de consistencia para los indicadores derivados del criterio “factores propios del centro tecnológico – factores internos”

C.I. – Índice de consistencia	0,01
R.I. – random index	1,24
C.R. – ratio de consistencia	0,01

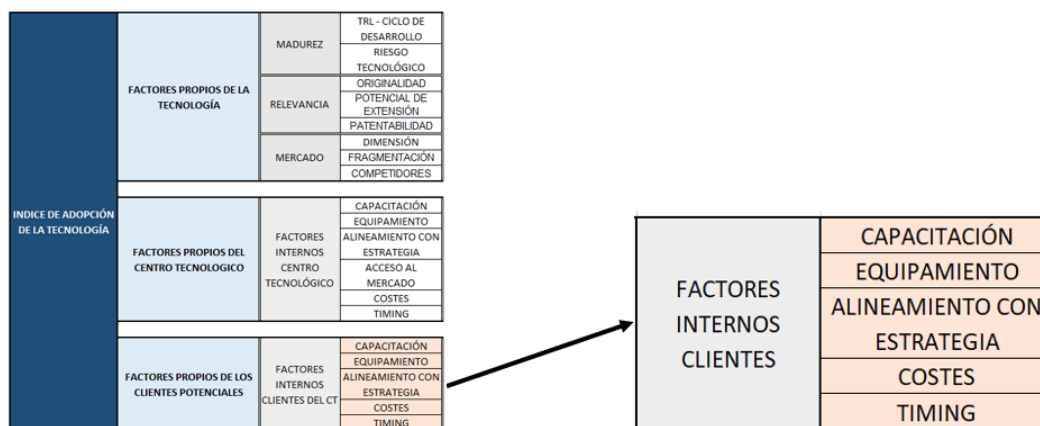
Con este valor del ratio de consistencia (debe ser inferior a 0,1), se da por válida esta

## 5. Resultados

valoración.

### 5.3.1.5 Asignación de pesos a los indicadores derivados del criterio “factores propios de los clientes potenciales – factores internos”

Los indicadores que caracterizan el criterio “factores internos de los clientes” son “capacitación”, “equipamiento”, “alineamiento con la estrategia”, “costes” y “timing”.



**Figura 37:** Esquema detalle de indicadores a comparar. Criterio “factores propios de los clientes potenciales – factores internos”

La matriz de comparación obtenida, el vector de pesos y los coeficientes de consistencia son los siguientes:

**Tabla 18:** Matriz de comparación por pares y vector de pesos para los indicadores derivados del criterio “factores propios de los clientes potenciales – factores internos”

	Capacit.	Equipam.	Alineam.con estrategia	Costes	Timing	Vector (w)
Capacitación	1,00	0,80	0,55	1,30	0,70	0,15
Equipamiento	1,25	1,00	0,83	2,20	0,90	0,21
Alineamiento con estrategia	1,82	1,20	1,00	3,00	1,14	0,27
Costes	0,77	0,45	0,33	1,00	0,20	0,09
Timing	1,43	1,11	0,88	5,00	1,00	0,27

**Tabla 19:** Análisis de consistencia para los indicadores derivados del criterio “factores propios de los clientes potenciales – factores internos”

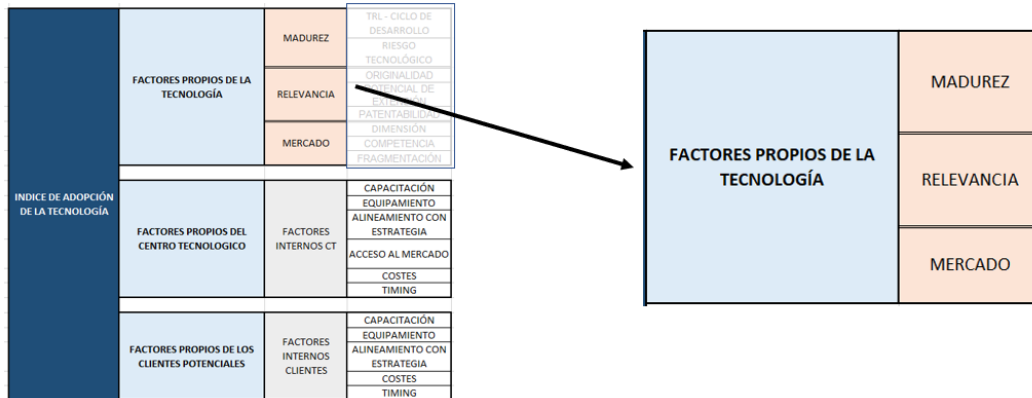
C.I. – Índice de consistencia	0,02
R.I. – random index	1,12
C.R. – ratio de consistencia	0,02

Con este valor del ratio de consistencia (debe ser inferior a 0,1), se da por válida esta valoración.

## 5. Resultados

### 5.3.1.6 Asignación de pesos a los criterios derivados del requerimiento “factores propios de la tecnología”

Ascendiendo al nivel anterior en el árbol jerárquico, los criterios que caracterizan el requerimiento “factores propios de la tecnología” son “madurez”, “relevancia” y “mercado”.



**Figura 38:** Esquema detalle de criterios a comparar. Requerimiento “factores propios de la tecnología”

La matriz de comparación obtenida, el vector de pesos y los coeficientes de consistencia son los siguientes:

**Tabla 20:** Matriz de comparación por pares y vector de pesos para los criterios derivados del requerimiento “factores propios de la tecnología”

	Madurez	Relevancia	Mercado	Vector (w)
Madurez	1,00	0,33	0,20	0,11
Relevancia	3,03	1,00	0,33	0,26
Mercado	5,00	3,03	1,00	0,63

**Tabla 21:** Análisis de consistencia para los criterios derivados del requerimiento “factores propios de la tecnología”

C.I. – Índice de consistencia	0,02
R.I. – random index	0,58
C.R. – ratio de consistencia	0,04

Con este valor del ratio de consistencia (debe ser inferior a 0,1), se da por válida esta valoración.

Nótese que en el caso de los criterios asociados al centro tecnológico y a los clientes el porcentaje es del 100%, al no existir más que un único criterio, “factores internos”, en ambos casos.

### 5.3.1.7 Asignación de pesos a los requerimientos

Finalmente, ascendiendo al primer nivel del árbol jerárquico, se asignan los pesos a los requerimientos.

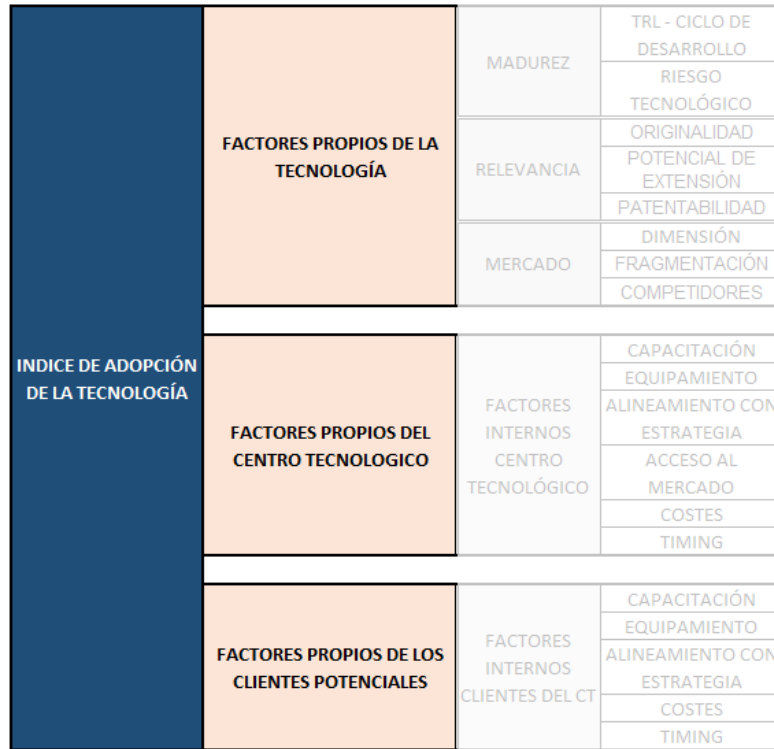


Figura 39: Esquema detalle de requerimientos a comparar

La matriz de comparación obtenida, el vector de pesos y los coeficientes de consistencia son los siguientes:

Tabla 22: Matriz de comparación por pares y vector de pesos para los requerimientos

	Factores propios de la tecnología	Factores propios del centro tecnológico	Factores propios de los clientes	Vector (w)
Factores propios de la tecnología	1,00	0,50	0,52	0,20
Factores propios del centro tecnológico	2,00	1,00	1,04	0,41
Factores propios de los clientes	1,92	0,96	1,00	0,39

Tabla 23: Análisis de consistencia para los requerimientos

C.I. – Índice de consistencia	0,00
R.I. – random index	0,58
C.R. – ratio de consistencia	0,00

Con este valor del ratio de consistencia (debe ser inferior a 0,1), se da por válida esta

## 5. Resultados

valoración.

De esta forma, el esquema o árbol jerárquico queda estructurado y ponderado tal como se recoge en la figura 40.

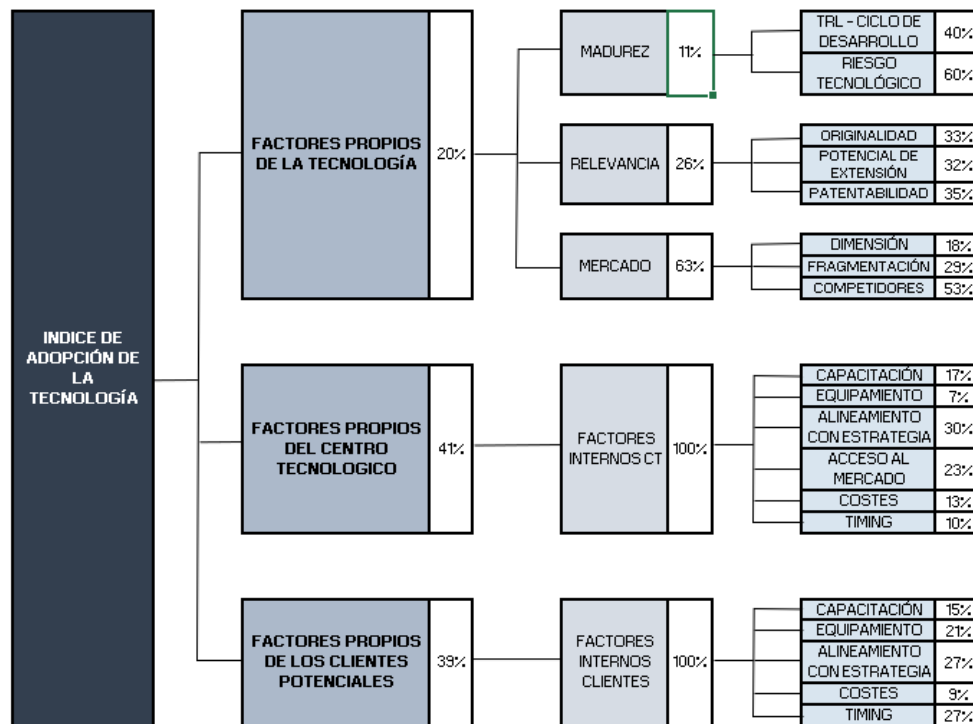


Figura 40: Árbol jerárquico con pesos asignados

### 5.3.2 Descripción y comportamiento de los indicadores

Una vez completado el árbol jerárquico, con la selección de requerimientos, criterios e indicadores y la ponderación de los mismos a través de la comparación por pares propuesta en la metodología AHP, el modelo MIVES se completa con la descripción del comportamiento de los indicadores y su valoración. Como se ha descrito anteriormente, el método MIVES permite la asignación de una función de valor en el caso de los indicadores continuos y también la valoración a través de una tabla de valores en el caso de los indicadores discretos.

A continuación se describe el comportamiento y valoración de cada uno de los indicadores del modelo.

#### 5.3.2.1 Requerimiento: Factores propios de la tecnología

##### ***Criterio Madurez. Indicador TRL - Ciclo de desarrollo:***

###### *Descripción del indicador*

Es ampliamente conocida la representación del ciclo de desarrollo de una tecnología como una curva en “S” (Christensen, 1992). De hecho, la curva en “S” se ha aplicado ampliamente para representar la evolución de numerosos procesos como la diversificación y difusión de la

## 5. Resultados

actividad innovadora (Rogers et al., 2019), la renovación y actualización tecnológica (Fisher y Pry, 1971), o la mejora del rendimiento tecnológico (Nieto et al., 1998). Dependiendo del caso de aplicación cada parte de la curva en “S” se vincula a distintas formas de innovación, gestión y actividad de inversión, siempre bajo un esquema similar relacionado con la evolución del aspecto a analizar. En el caso del desarrollo tecnológico, la curva se divide en cuatro fases: incubación, crecimiento, madurez y declive.

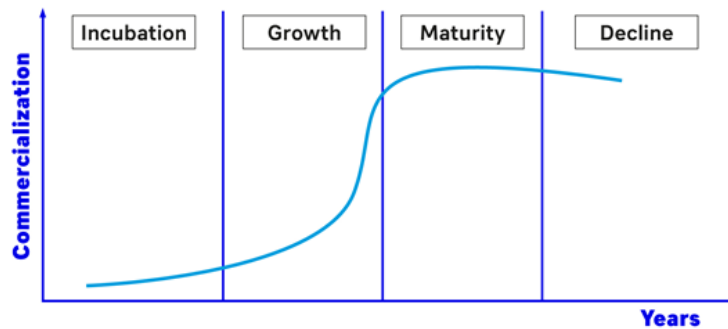


Figura 41: Curva en “S” representativa del ciclo de desarrollo de la tecnología

La primera fase del ciclo de vida de una tecnología está caracterizada por la actividad básica de investigación y desarrollo, con una baja interacción con el mercado. Esta fase se centra en demostrar la viabilidad de la tecnología, básicamente desde el punto de vista técnico-científico.

En la segunda fase, crecimiento, la viabilidad técnica ya se ha concretado, por lo que los esfuerzos se enfocan en la viabilidad industrial, y a partir de ella en la transformación de la investigación en innovación. La innovación, la interacción con la industria y el mercado, durante esta fase permite mejorar las características originales de la tecnología y ampliar su campo de aplicación.

La fase de madurez se caracteriza por una mayor concentración de esfuerzo en mercado. El esfuerzo científico-tecnológico es menos intenso, siendo los factores productivos, de optimización y de interacción con el mercado los que centralizan esta fase.

Por último, la fase de declive o saturación supone una disminución de los ratios de crecimiento. Es la fase en la que las tecnologías y productos alternativos comienzan a ocupar el espacio de la tecnología. En muchos casos, en esta fase, la competencia se basa en reducciones de precio en lugar de en mejoras de producto (Zartha et al., 2017).

Una representación más recientemente aparecida, y que propone una visualización alternativa para la ubicación de tecnologías en su ciclo de desarrollo es la llamada “Hyper Cycle” (Gartner, s. f.). Introducida por la consultora Gartner, se aplica como guía para identificar gráficamente el estado de las tecnologías más prometedoras a nivel mundial y de aquellas que aún no se han hecho conocidas pero tienen elevadas expectativas de crecimiento (Alberto Notario, 2017).

Una Hype Cycle (figura 42) proporciona una imagen instantánea de las tecnologías, identificando qué tecnologías son promocionadas, cuáles sufren un descenso y cuáles son lo suficientemente estables para ser desarrolladas. La consultora Gartner proporciona su análisis



## 5. Resultados

periódicamente, como ejemplo, en la figura 42 se presenta la curva publicada en agosto de 2020 (Gartner, 2020):

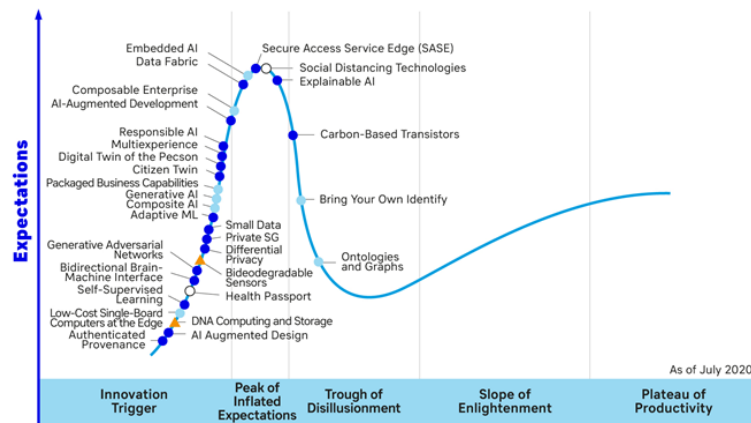


Figura 42: Hype Cycle de Gartner 2020

Una opción objetiva para la valoración de este indicador se basa en la escala *Technology Readiness Level* (TRL) (Héder, 2017; ISO, 2013), ya que se trata de una escala aceptada a nivel mundial para medir el grado de madurez de una tecnología. En particular, en ámbitos científico-tecnológicos europeos se aplica masivamente desde que la Comisión Europea la adoptó como métrica para caracterizar los proyectos financiados dentro de sus convocatorias de I+D (Héder, 2017).

En la escala TRL, los tres primeros niveles (TRL 1 – TRL 3) hacen referencia a la investigación básica. Los cuatro siguientes niveles (TRL 4 – TRL 7) consisten en el proceso de desarrollo tecnológico hasta llegar a un primer prototipo o demostrador industrial no comercializable. Es en el siguiente nivel (TRL 8) donde se encuentran los proyectos de demostración industrial. Y, por último, en el TRL 9 se encuentra el despliegue o implantación a gran escala.

La figura 43 recoge la definición de cada uno de los niveles utilizada por la Comisión Europea en sus llamadas de *Horizon2020 - Factories of the Future* (FoF, 2012).

Technology Readiness Level (TRL) of Manufacturing Technology								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Basic principles observed	Technology concept and/or application formulated	Analytical experimental proof of concept	Technology validation in laboratory environment	Technology validation in relevant environment	System/sub system model or prototype demonstration in a relevant environment	System prototype demonstration in an operational environment	Actual system completed and qualified through test and demonstration	Actual system proven through successful operation

Figura 43: Escala TRL según Factories of the Future Roadmap (FoF, 2012)

### Forma de valoración

Para la valoración del ciclo de desarrollo se ha diseñado una función de valor, donde el parámetro a valorar es el nivel de TRL en el que se encuentra la tecnología en el momento de evaluación. Cabe señalar que la valoración de una tecnología en la escala TRL no es absolutamente objetiva sino que está sujeta a una interpretación y valoración del marco global.

## 5. Resultados

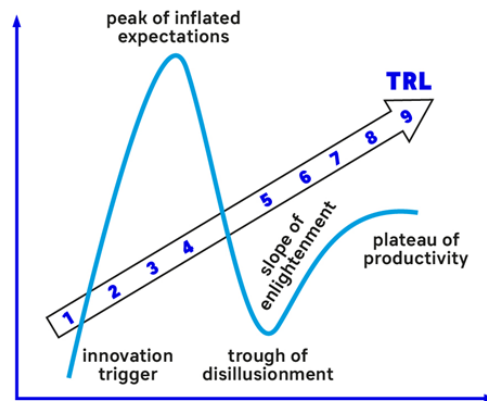
Como criterio en este trabajo de investigación, el hecho de que haya alguna aplicación aislada comercial de la tecnología no conduce a valorar automáticamente esa tecnología en TRL9. Se plantea un criterio según el cual se analice la situación global de la tecnología, y se asigne el valor de TRL según el estado más generalizado de la misma en la comunidad investigadora e industrial.

**Tabla 24:** Ponderación del nivel de TRL

TRL1	TRL2	TRL3	TRL4	TRL5	TRL6	TRL7	TRL8	TRL9
100	87,5	75	62,5	50	37,5	25	12,5	0

La forma de la función de valor se ha definido en forma de “S”, con una primera zona de TRLs bajos que proporcione una valoración alta, y una disminución del valor otorgado a partir de TRLs medios.

Esta forma concuerda con las recomendaciones sobre inversión que se realizan acompañado a la curva en “S” de la tecnología (Zartha et al., 2017), y también a las propuestas que algunos autores realizan a partir de la “Hype Cycle” de Gartner (Naftaly et al., 2019), tal como se puede ver en la figura 44.



**Figura 44:** Relación de Hype Cycle con TRL

Así, la función de valor responde a la ecuación (9), y toma la forma que puede verse en la figura 45.

$$\text{TRL - ciclo desarrollo} = 1,000 \times \left[ 1 - e^{-0,3 \times \left(\frac{p}{52}\right)^{6,5}} \right] \quad (9)$$

## 5. Resultados

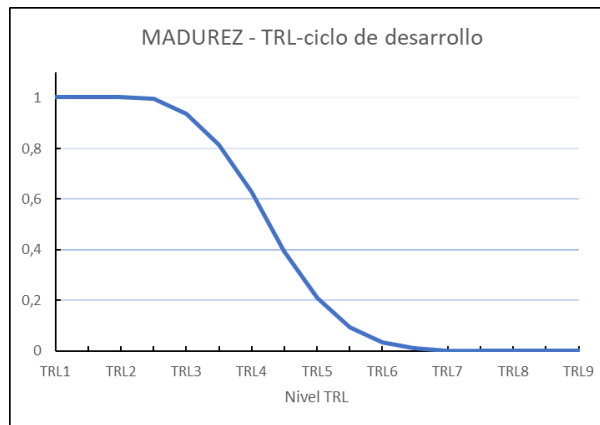


Figura 45: Función de valor del indicador TRL - ciclo de desarrollo

### ***Criterio Madurez. Indicador riesgo tecnológico***

#### *Descripción del indicador*

La madurez de la tecnología, representada en el indicador anterior por la posición en la escala TRL, lleva emparejado un nivel de riesgo diferente. La identificación y gestión de los riesgos asociados a la adopción de una tecnología ocupan un capítulo importante en los procesos de gestión de la tecnología, como un elemento a tener en cuenta en la evaluación de la misma (Ordoobadi, 2011). Esos análisis detallados del riesgo de adopción de una tecnología atienden a factores tecnológicos, organizativos, financieros, sociales, que en este modelo están recogidos entre los factores clave (requerimientos, criterios e indicadores) tanto de la propia tecnología como del centro tecnológico y sus clientes.

El indicador que se evalúa en este punto, siendo parte de la caracterización de la tecnología, se refiere exclusivamente a los riesgos tecnológicos relacionados con la naturaleza de la tecnología y su posición en su ciclo de desarrollo. Por ello, como se verá en la forma de valoración, se tendrán en cuenta dos aspectos relacionados con la juventud y naturaleza de la tecnología:

1. El riesgo de que la tecnología no llegue a converger en su proceso de desarrollo.
2. El riesgo de que los costes para esa evolución y convergencia sean excesivos

El riesgo se define como una multiplicación de probabilidades y consecuencias o impactos, por ello las matrices de riesgos son las herramientas más extendidas para llevar a cabo este tipo de evaluaciones, determinando si ciertos riesgos pueden ser tolerados o no (APM, 1992; Ordoobadi, 2011). Esta matriz de probabilidades e impactos se dimensiona habitualmente entre tres y cinco niveles, siendo la más habitualmente utilizada la de 4x4 (Usme, 2005), representada en la figura 46.

Una vez identificados los riesgos, el siguiente paso es su clasificación dentro de la matriz de riesgos, para lo que se necesita determinar, en primer lugar, la importancia relativa de cada riesgo y, en segundo lugar, su percepción de que cada uno de ellos ocurra. Es decir, las

## 5. Resultados

probabilidades y consecuencias de que se materialice dicho riesgo.

Probabilidad	4. Máxima	4	8	12	16
	3. Significativa	3	6	9	12
	2. Limitada	2	4	6	8
	1. Despreciable	1	2	3	4
		1. Despreciable	2. Limitado	3. Significativo	4. Máximo
Impacto					

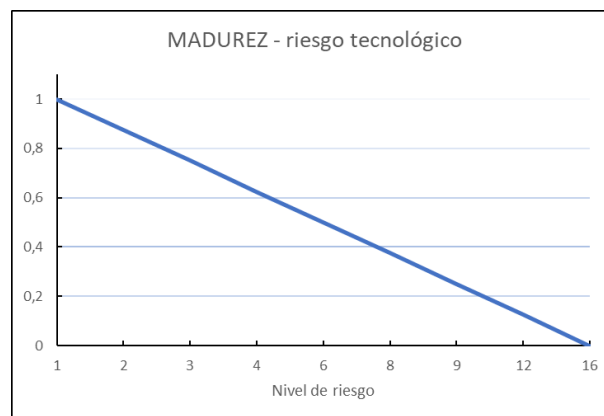
**Figura 46:** Matriz de riesgos

### Forma de valoración

La valoración de este indicador se realiza basándose en la matriz de riesgos (figura 46). Las probabilidades y consecuencias de que ese riesgo se materialice se clasifican en 4 niveles de menor a mayor importancia: despreciable, limitada, significativa y máxima, teniendo cada uno de ellos asignado un valor del 1 al 4.

Para cada tecnología que se analice se seleccionan ambos niveles (probabilidad y consecuencias) y de esta manera se determina el nivel de riesgo en el que se encuentra, mediante la multiplicación de ambos valores.

Como el máximo valor que se puede obtener de la multiplicación de probabilidades y consecuencias es 16, a ese valor le corresponde un 0 (máximo riesgo negativo). Por el contrario, el mínimo valor que se puede obtener de la multiplicación de probabilidades y consecuencias es 1, por lo que a ese valor le corresponde el 1 (mínimo riesgo negativo). A partir de estos límites se ha definido una función de valor lineal, que se presenta en la figura 47.



**Figura 47:** Función de valor para el indicador riesgo tecnológico

Esta valoración se realiza para los dos aspectos que configuran el indicador (riesgo de que la tecnología no converja, no se materialice en su desarrollo y riesgo de incurrir en sobrecoste no asumible) y de la media de ambos aspectos se obtiene la valoración final del indicador.

### ***Criterio Relevancia. Indicador Originalidad***

#### *Descripción del indicador*

La originalidad, también identificada como novedad, en ámbitos científicos puede definirse como el grado en que un descubrimiento científico proporciona estudios posteriores con conocimientos únicos que no están disponibles en estudios anteriores (Shibayama y Wang, 2020), y en ámbitos tecnológicos como la capacidad de una tecnología de producir un proceso de cambio en la industria y el mercado (Henderson y Clark, 1990; Verhoeven et al., 2016). El conocimiento original es una fuente potencial de nuevas ideas que pueden abrir nuevos sectores e industrias que dependen del conocimiento fuera del camino tecnológico existente, relacionado también en su fase de materialización, con el concepto de invención (Arthur, 2007). Alrededor del concepto de originalidad y novedad se genera un vasto campo de debate, que deriva en numerosos trabajos relacionados con la medición y caracterización del grado de originalidad o novedad de una tecnología, y especialmente, de un avance científico (Gerken y Moehrle, 2012a). Algunos autores proponen una escala o diferenciación de la originalidad, entre aquella que se obtiene a partir de la combinación de conocimientos originales previos y la que puede considerarse como verdaderamente pionera. La originalidad recombinante fue formulada por Schumpeter (Schumpeter, 1934) que la interpretó como una nueva combinación de recursos más o menos conocidos (también siguen esta línea otros autores como Fleming et al., 2007 o Schoenmakers y Duysters, 2010). Por el contrario, la originalidad o novedad pionera se puede encontrar en tecnología, invenciones e innovaciones que no provienen de invenciones previas (Fleming, 2001).

#### *Forma de valoración*

La medición de la originalidad y novedad presenta dos líneas paralelas, en algunos casos combinadas, en el campo científico y el campo industrial. En el campo científico, el análisis y medición de las publicaciones científicas, con diferentes parámetros de medición, como el índice de impacto o el número de citas es un método ampliamente extendido, mientras que en ámbito industrial el análisis de patentes es la herramienta que más habitualmente se encuentra en trabajos que evalúan la originalidad o novedad de una tecnología (Guerzoni et al., 2017).

En esta tesis la medición de la originalidad se asocia al aspecto científico de la tecnología, a la vez que el carácter de novedad industrial se representa por el indicador de patentabilidad. Por ello, para llevar a cabo la valoración del indicador originalidad se van a considerar las publicaciones realizadas referentes a la tecnología que se pretende desarrollar. Se parte de la premisa de que cuanto menor sea el número de publicaciones realizadas sobre una determinada tecnología, más original será la idea. Para poder tomar una referencia que permita cuantificar el indicador, el límite inferior de valoración del indicador se referencia al número de publicaciones asociadas a las tecnologías maduras en el ámbito de estudio de la tecnología, en este caso los procesos de fabricación o manufacturing. Entre las tecnologías más maduras

## 5. Resultados

consideradas como referencia se encuentran el fresado, el torneado o el rectificado. Analizando el número de publicaciones referidas a estas tecnologías, se define el límite de mínima valoración del indicador en 4.000 publicaciones que las referencian, por lo que, en ese caso el resultado del indicador toma el valor 0.

A partir de este límite máximo se plantea una función de valor que presenta una valoración elevada en caso de que el número de publicaciones se sitúe por debajo de 1.000, valor a partir del cual la curva sufre un descenso pronunciado hasta aproximarse al cero referido en las 4.000, tal como se representa en la función de valor de la figura 48, según la ecuación (10).

$$\text{originalidad} = 1,000 \times \left[ 1 - e^{-12 \times \left( \frac{X_{\max} - X}{4000} \right)^6} \right] \quad (10)$$

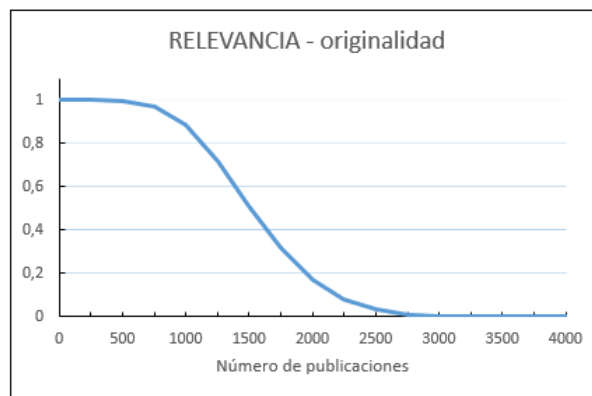


Figura 48: Función de valor para el indicador originalidad

### ***Criterio Relevancia. Indicador Potencial de extensión***

#### Descripción del indicador

El potencial de extensión de una tecnología se define como su capacidad para generar nuevas oportunidades tecnológicas y abrirse a otros sectores (Ma et al., 2013). Este concepto de potencial de extensión es habitualmente relacionado con el carácter horizontal o vertical de la tecnología, y las ventajas y desventajas que un carácter u otro presentan, y más aún, las diferentes estrategias que adoptan los actores implicados en el desarrollo y transferencia de la tecnología (agentes tecnológicos, empresas, corporaciones), en función de un escenario u otro (Del Giudice et al., 2019; Liu y Guo, 2019). En el caso que ocupa esta investigación, este indicador pretende determinar si se trata de una tecnología muy vertical, muy asociada a una aplicación industrial muy determinada, a una tipología de máquina, lo que conlleva una limitación en la posibilidad de encontrar aplicaciones en otros sectores diferentes o, en el por el contrario, se trata de una tecnología más transversal, aplicable en gran variedad de máquinas, aplicaciones y sectores.

Según su ámbito de aplicación las tecnologías pueden clasificarse del siguiente modo:

- Tecnologías horizontales: son las que debido a su carácter transversal pueden aplicarse en distintos sectores de actividad.

## 5. Resultados

- Tecnologías verticales: son las propias y características de un sector o industria.
- Tecnologías específicas: son las idiosincrásicas de cada empresa.
































































En principio, cuanto más horizontal sea una tecnología, mayor será su potencial de extensión, ya que será más fácil encontrar nuevas aplicaciones para dicha tecnología.

### Forma de valoración



































































































Tal como se ha venido refiriendo en este documento, la Máquina Herramienta juega un papel estratégico dentro del sector global del Manufacturing ya que permite la producción de todos los demás equipos industriales y productos desarrollados por ellos, estando en el origen de casi cualquier proceso de fabricación. Así, la mayoría de los objetos que uno puede ver en su entorno, desde coches a aviones, desde turbinas eólicas a satélites, y desde relojes hasta computadoras y teléfonos móviles se hacen gracias a las máquinas herramientas (CECIMO, 2011). Por ello, se ha decidido tomar el espectro de Máquinas Herramienta como el elemento de valoración del potencial de extensión de las tecnologías a evaluar, en el sentido de que el indicador recibirá una mayor valoración si la tecnología es aplicable en un mayor número de tipos de máquinas, ya que esto derivará en su impacto en un mayor número de aplicaciones y acceso a un número mayor de mercados.

La clasificación de las máquinas herramienta se lleva a cabo habitualmente según diferentes aspectos: tamaño, arquitectura, número de ejes, nivel de automatización, configuración (CECIMO, s. f.; UPV-EHU, s. f.). La Asociación de Fabricantes de Máquinas Herramienta Española (AFM) propone una clasificación, por tipo de máquina, en la que además incluye el número de variantes asociadas, la distribución del volumen de negocio y los sectores de aplicación (AFM), que se presenta en la tabla 25.

**Tabla 25:** Clasificación de los tipos de máquina-herramienta según AFM (AFM, s. f.)

Tipo de máquina	Nº variantes	Volumen de negocio	Campos de aplicación
Tornos	64	14,38%	      
Fresadoras	70	15,46%	      
Mandrinadoras	10	1,73%	      
Taladros	16	3,24%	      
Roscadoras	22	4,45%	      
Rectificadoras	31	6,28%	      
Afiladoras, pulidoras y amoladoras	18	3,64%	      
Centros de mecanizado	13	5,64%	      
Máquinas especiales y	18	6,87%	      

## 5. Resultados

Tipo de máquina	Nº variantes	Volumen de negocio	Campos de aplicación
máquinas transfer			
Brochadoras	5	1,01%	      
Máquinas de electroerosión	3	0,61%	      
Máquinas de centrar y refrentar	3	0,61%	      
Prensas mecánicas	7	12,79%	      
Prensas hidráulicas	40	6,78%	      
Servoprensas	6	4,56%	      
Líneas de prensas	3	0,61%	      
Máquinas para el trabajo de chapa	99	5,64%	      
Líneas de corte con prensa	1	0,20%	      
Máquinas para el trabajo de barras, perfiles y tubos	34	1,36%	      
Máquinas para fabricación de tornillos y pernos	3	0,61%	      
Máquinas para grabar, marcar y/o puntear	6	1,21%	      
Sistemas de fabricación flexible	12	1,43%	      
Remachadoras	10	0,89%	      

Para valorar el indicador, se podría plantear contabilizar el número de tipos de máquina sobre los que es aplicable la tecnología, ponderado con el número de variantes y sectores. Podría también tenerse en cuenta en la ponderación el peso de cada sector de aplicación. Sin embargo, cabe recordar que para asegurar la utilidad, y la agilidad de utilización del modelo, la obtención de los datos a partir de los que se valora el indicador debe ser ciertamente sencilla para el usuario.

Por ello, se considera como valor a utilizar por parte del usuario el número de tipos de máquina sobre los que la tecnología puede aplicarse, considerando el número de variantes de cada tipo de máquina.



## 5. Resultados

Y se ha considerado proponer una función lineal, en la que el máximo está marcado por el número total de variantes de máquina.

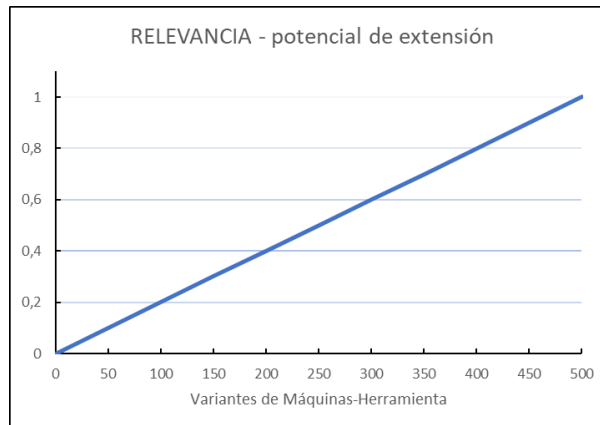


Figura 49: Función de valor del indicador potencial de extensión

### ***Criterio Relevancia. Indicador Patentabilidad***

#### Descripción del indicador

Tal como se ha referido al explicar el indicador de originalidad, el análisis de las patentes asociadas a una tecnología o una invención es uno de los métodos más habituales para gestionar distintos aspectos relacionados con la competitividad, la competencia, la oportunidad o la viabilidad de invertir en una tecnología o invención, o en desarrollar soluciones alternativas a una existente (Verhoeven et al., 2016).

Existen numerosos estudios que sugieren métodos basados en el análisis de patentes, caracterizadas por su enorme tamaño y variedad de información tecnológica, para pronosticar e identificar tecnologías emergentes. Varios de estos estudios se basan en las citas de patentes, proporcionando herramientas para analizar el valor de las patentes revisadas (Gerken y Moehrle, 2012). Es decir, se supone que una patente altamente citada por patentes posteriores es una tecnología valiosa.

El sistema internacional de clasificación de patentes subdivide la tecnología en más de 70.000 grupos. Además, la clasificación sigue la normativa internacional, lo que facilita recuperar con mayor facilidad las tecnologías descritas en el sector que interese.

En definitiva, la patentabilidad de una tecnología hace referencia al número de patentes que se han publicado en los últimos años pertenecientes al sector de dicha tecnología.

#### Forma de valoración

La valoración de este indicador se basa en la realización de un proceso de búsqueda sobre las bases de datos de patentes, entre las que espacenet (<https://es.espacenet.com/>) es la más habitual, de acceso público y fácil uso para una búsqueda ágil y adecuada.

De manera análoga al análisis realizado en el caso de la originalidad, del proceso de análisis previo de patentes de tecnologías de fabricación en diferentes grados de madurez se ha podido

## 5. Resultados

concluir que si el número de patentes es superior a 10.000, este indicador adquiere el menor valor posible, es decir, 0. Para el resto de posibles valores intermedios se emplea una curva en “S” en la que se aplica un descenso significativo a partir de 2000 patentes, tal como se puede ver en la figura 50, regida por la ecuación 11:

$$\text{patentabilidad} = 1,001 \times \left[ 1 - e^{-0,4 \times \left( \frac{X_{\max} - X}{6000} \right)^{5,5}} \right] \quad (11)$$

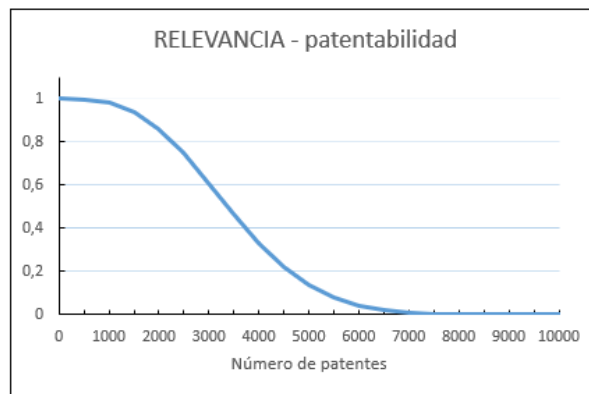


Figura 50: Función de valor para el indicador patentabilidad

### ***Criterio Mercado. Indicador Dimensión***

#### Descripción del indicador

Sólo una minoría de conceptos y tecnologías de nuevos productos prometedores logran el éxito comercial (Adams-Bigelow, 2004). Ya desde Schumpeter (1934), quedó establecido que la innovación es una combinación de la tecnología y las necesidades de la sociedad, el mercado y la industria, que aborda esa tecnología: Lo que puede ser un avance relevante para el desarrolladora de la tecnología, puede ser completamente irrelevante para el destinatario del producto asociado a esa tecnología (Abernathy y Clark, 1985). Sin embargo, no siempre la visión académica y tecnológica ha prestado verdadera atención al mercado, focalizando en gran medida los esfuerzos exclusivamente en la dimensión tecnológica a costa de ignorar la dimensión del mercado en el proceso de generación y desarrollo de la tecnología (Baregheh et al., 2009). Esta investigación ha considerado clave incluir los factores relativos al mercado como elementos clave para la toma de decisión y el propio proceso de elaboración del modelo ha corroborado esta decisión, con la elevada ponderación otorgada a estos factores por parte del panel de expertos.

Los mercados varían enormemente en tamaño y configuración, siendo una característica de los mercados la gran heterogeneidad que tiene lugar entre las empresas que los constituyen: tamaño, edad, niveles de eficiencia, trayectorias de crecimiento, carácter innovador. Habitualmente se utilizan varios términos para describir el mercado en función del nivel de dimensión y de cercanía o accesibilidad, comenzando desde la dimensión más general hasta la más concreta o cercana. Una clasificación extendida es la que lo estructura en (Carbonell y

## 5. Resultados

---

Rodriguez, 2006):

1. Mercado potencial. Es decir, la parte de la población total que presenta interés en adquirir el producto o servicio. En este caso concreto, la tecnología desarrollada.
2. Mercado disponible. Es la parte del mercado potencial que realiza una demanda efectiva.
3. Mercado objetivo. Es el segmento del mercado disponible al que la empresa ha decidido orientar su producto o tecnología.
4. Mercado penetrado. Hace referencia a la parte del mercado objetivo al que finalmente accede el producto o tecnología.

### Forma de valoración

La dimensión de mercado se analiza en función del número de clientes potenciales que tenga la tecnología que esté siendo sometida a evaluación. Si este número es elevado, se puede concluir que resulta interesante introducirse en ese sector, debido a que las probabilidades de alcanzar un impacto positivo con la introducción de la tecnología son más amplias que en el caso contrario.

Esta investigación está enfocada hacia el sector del Manufacturing, a través de la Máquina-Herramienta. Por tanto, como de antemano no se pueden conocer los clientes reales que se van a tener tras el desarrollo de la tecnología, el valor a introducir en la función de valor se calcula de la siguiente manera:

1. Se calcula el mercado del subsector máquina-herramienta correspondiente, siguiendo el número de variantes de máquinas que se presenta en la tabla 25.
2. Se calcula el mercado de las distintas variantes de máquinas en las que va a ser aplicable la tecnología.
3. Se obtiene la relación existente entre los mercados de los tipos de máquinas y el mercado global de la tecnología, siendo este el porcentaje el que se introduce en la función.

$$\text{dimensión} = 1,002 \times \left[ 1 - e^{-0,45 \times \left( \frac{X - X_{\min}}{35} \right)^{2,5}} \right] \quad 12)$$

La dimensión de mercado está representada por una curva en "S", regida por la ecuación 12. El parámetro a introducir es un número entre 100 y 0 que representa el tamaño del mercado, siendo 100 el mayor tamaño y 0 el menor.

## 5. Resultados

Como se puede observar en la figura 51, cuando la dimensión es inferior al 60, la valoración del indicador disminuye notablemente.

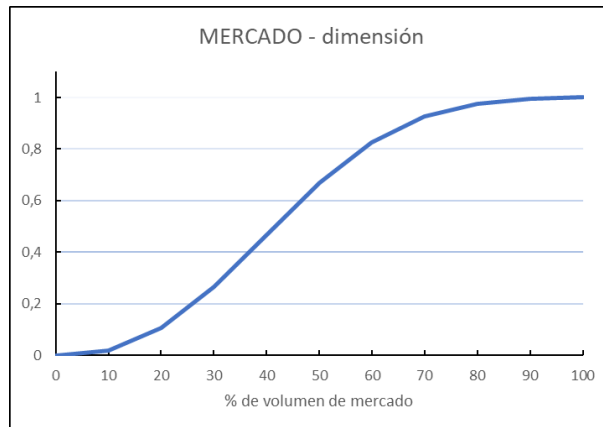


Figura 51: Función de valor para el indicador dimensión

### **Criterio Mercado. Indicador Fragmentación**

#### Descripción del indicador

El indicador fragmentación (podía haberse definido también como segmentación) trata de representar la identificación de una situación de estructuración o fragmentación del mercado que permita o facilite el desarrollo de una estrategia de acercamiento a nichos de mercado, que constituye una de las estrategias de las empresas del sector de la Máquina-Herramienta y el Manufacturing vasco.

La estrategia de posicionamiento y apuesta por nichos de mercado es un concepto comúnmente aceptado como una herramienta de mercado, que se viene aplicando en una gran variedad de industrias, productos y servicios, de manera creciente en las economías occidentales, frente a la estrategia de masificación de las economías basadas en el bajo coste.

La estrategia de segmentación consiste en seleccionar una porción relativamente pequeña del mercado, donde la empresa pueda ser líder u ocupar una posición de fuerza (Bernard et al., 2011). La segmentación es una variación de los dos grandes caminos estratégicos: la diferenciación de producto-servicio y la estrategia de bajo coste.

Enfocarse a nivel de nicho implica especializarse en un tipo concreto de clientes, lo que presenta las siguientes ventajas:

1. Los clientes son más fieles porque existe una relación y una alineación mayor entre la demanda y la oferta.
2. Los clientes acceden a pagar por un producto diferenciado que satisface sus necesidades y requerimientos.
3. Se reduce la competencia, debido a que es un sector menos atractivo para las compañías que se enfocan en sectores masivos.

## 5. Resultados

4. Se percibe una mayor especialización de la compañía, lo que se traduce en diferenciación.

En definitiva, un cierto nivel de fragmentación de un mercado resulta beneficioso para el desarrollo de la estrategia de especialización y abordaje de nicho, siempre que los nichos identificados tengan un tamaño suficiente que permita desarrollar la actividad que se persigue y alcanzar una cuota de mercado suficiente para la sostenibilidad de la empresa.

### Forma de valoración

En lo referente a la fragmentación, se emplea la referencia de AFM mencionada en la valoración del potencial de extensión y el volumen de mercado. De dicho documento se obtiene la clasificación del sector por tipos de máquinas junto con la distribución del volumen de negocio (tabla 25).

Considerando cada uno de estos tipos de máquinas-herramienta se calcula el indicador a partir de los tipos de máquina en los que es aplicable la tecnología y los sectores de aplicación. En caso de que la tecnología pueda aplicarse en más de un sector, el resultado final del indicador será la suma del valor de cada uno de los sectores. Con ese valor del porcentaje, la función de valor proporciona el valor del indicador. Para este indicador se ha definido una función de valor lineal, que se presenta en la figura 52.

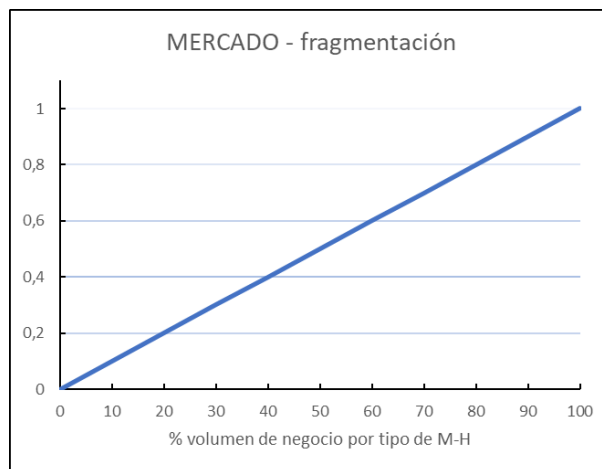


Figura 52: Función de valor para el indicador fragmentación

### **Criterio Mercado. Indicador Competidores**

#### Descripción del indicador

Antes de pasar a describir el indicador y la forma de valoración, es conveniente recordar que si bien este trabajo está orientado a la evaluación y selección de tecnologías por parte de un centro tecnológico, el concepto de este indicador que trata de medir la competencia existente en el mercado relacionado con las tecnologías en evaluación se refiere a los competidores industriales de los potenciales clientes del centro, y no a los competidores directos del centro tecnológico, que podrían ser otros agentes de investigación. Se considera por parte del equipo

## 5. Resultados

de investigación que otros agentes de investigación son, en la práctica, potenciales colaboradores en el desarrollo de la tecnología, y no competidores directos en el mercado, donde sí podrían ser considerados como tal los clientes de otros agentes, que sí estarán considerados en esta valoración.

La identificación de los competidores ocupa un papel central en la investigación estratégica de gestión y marketing. En la estrategia de cualquier empresa para hacer cualquier movimiento, ya sea para mejorar su posicionamiento en su sector y su mercado, decidir cómo posicionarse o posicionar su producto en el panorama competitivo o intentar explotar cualquier ventaja competitiva, la identificación y estudio de sus competidores es una actividad clave (Bergen y Peteraf, 2002).

El análisis de los competidores es una de las estrategias más comunes en períodos de crisis o recesión económica. Se justifica en esos momentos conocer acerca de la competencia porque la rivalidad aumenta cuando el tamaño del mercado no crece, o incluso se contrae, porque las empresas buscan crecer a costa de los otros actores del mercado. Pero no solamente en tiempos de crisis, analizar a los competidores es una práctica recomendada, también en períodos de expansión estudiar a otras empresas del sector puede brindar beneficios concretos como identificar oportunidades, aprender de las empresas líderes, evitar sorpresas cuando se ejecutan planes y hasta ganar contratos (Wu y Olk, 2014).

La importancia del análisis de la competencia se manifiesta en su presencia en la literatura de gestión estratégica, en ámbitos como la inteligencia competitiva (Zahra y Chaples, 1993), análisis de grupos estratégicos de interés (McNamara et al., 2003), operativa de equipos directivos (Clark, 2011), factores de marketing y económicos de las organizaciones (Porter, 1997), entre otros temas de investigación. Si bien cada una de estas corrientes de investigación reconoce la importancia de identificar a los competidores, existe menos acuerdo en términos de cómo se identifican los competidores. Una corriente básica define a los competidores de una empresa como aquellas empresas del mismo sector o mercado objetivo. Esta clasificación hace que sea relativamente fácil definir los competidores, pero a menudo tiene como resultado un excesivo número de ellos, con lo que cualquier análisis más profundo o el establecimiento de estrategias de posicionamiento respecto a los competidores se complica o pierde efectividad. Respondiendo a esta limitación, otros investigadores proponen centrarse en subconjuntos de empresas que presenten características que los convierten en competidores directos (Wu y Olk, 2014).

### Forma de valoración

Tratando de equilibrar la facilidad de aplicación del modelo con una efectiva y fiable identificación de competidores que, como se ha descrito previamente, no caiga en una excesiva generalización, la identificación de competidores directos en la tecnología evaluada se propone basándose en la información sobre tecnologías y productos presente en la información pública de los competidores, en sus páginas web.

## 5. Resultados

Es importante significar que este indicador no trata sólo de identificar los potenciales competidores, sino que se plantea evaluar la intensidad de esa competencia, para lo que se lleva a cabo un análisis de la criticidad de la competencia, que se caracterizará a partir de:

1. El número de competidores que presentan desarrollos y productos en las tecnologías evaluadas.
2. El tamaño de los competidores, entendiendo que la presencia de empresas líderes del sector es más negativa para la valoración frente al caso de competidores de menor tamaño. En base a la clasificación europea se establecen tres niveles: grande, medio y pequeño.
3. La intensidad y continuidad de su involucración con las tecnologías evaluadas. Y, para ello se evaluará:
  - a. si la evolución en el tiempo es creciente, estable o decreciente
  - b. si la intensidad de involucración es alta, media o baja. La manera objetiva de identificar esta intensidad se basa en la identificación de publicaciones y proyectos de administración pública en los que participa el competidor relacionados con las tecnologías evaluadas.

En caso de que el número de competidores sea muy elevado, sería demasiado costoso para el usuario de la herramienta obtener los datos para realizar este análisis detallado de cada uno de ellos. Por tanto, se plantean estas situaciones:

1. Estos datos de detalle de cada competidor se analizan sólo si el número de los mismos es igual o inferior a 5.
2. En caso de identificar más de 5 competidores, solo se analizarán aquellos de gran tamaño.
3. Por último, en caso de que haya más de 3 competidores de gran tamaño no será necesario llevar a cabo este análisis, ya que el indicador se valorará con un 0.

A continuación, se muestra el análisis a realizar de cada competidor.

	Entrada de datos	
Tamaño	Pequeño	(desplegable: pequeño, mediano, grande)
Tendencia en el tiempo	Creciente	(desplegable: creciente, estable, decreciente)
Intensidad	Media	(desplegable: baja, media, alta)

**Figura 53:** Método de valoración de los competidores

## 5. Resultados

En caso de que haya más de un competidor, el resultado es el promedio de todos ellos. Si hay más de 5 competidores y son todos de tamaño pequeño o medio, se emplea la siguiente tabla para la evaluación del indicador.

**Tabla 26:** Valoración de los competidores en caso de que haya 5 o más empresas de tamaño pequeño y/o mediano

	valor
Entre 5 y 10 competidores	0,75
Entre 11 y 20 competidores	0,5
Entre 21 y 50 competidores	0,25
Más de 50 competidores	0

### 5.3.2.2 Requerimiento: Factores propios del centro tecnológico

#### ***Criterio Factores internos del CT. Indicador Capacitación profesional***

##### Descripción del indicador

Las capacitación técnica y la experiencia son consideradas clave para el desarrollo de las economías occidentales y el incremento de la productividad y competitividad (Cedefop, 2015). La Unión Europea ha identificado claramente que a largo plazo, la economía dependerá cada vez más del aumento de la productividad (Peschner y Fotakis, 2013). El impacto de la capacitación, obtenido a partir de la formación académica, con especial atención a la educación superior, y de la formación en el propio desempeño laboral (experiencia y formación) es significativo para asegurar el aumento de productividad necesario para la competitividad europea.

La estrategia de alta cualificación tiene además un efecto añadido de realimentación y de llamada en las organizaciones. Cuando la alta cualificación se alinea con una elevada exigencia y unos resultados acordes con ambas, la satisfacción profesional se incrementa, lo que redundará en una mayor motivación, y una dinámica de crecimiento humano, profesional y organizacional, creando un ciclo que se realimenta positivamente (Bloom y Reenen, 2010; Cedefop, 2015).

Asimismo, disponer de un personal más capacitado y cualificado profesionalmente es sinónimo de un equipo más flexible y, en consecuencia, más capaz de hacer frente a situaciones críticas y de trabajo en equipo (Autor et al., 2003). Es importante que el equipo de trabajo se mantenga formado en relación con las distintas tendencias y corrientes marcadas en el mercado de un sector determinado, especialmente en sectores, como el Manufacturing y la Máquina-Herramienta, que se soportan en una estrategia de competitividad y sostenibilidad a través de la tecnología (CECIMO, 2011).

Frente a una discusión relativamente frecuente hace unas décadas, en particular en sectores industriales tradicionales como el Manufacturing, entre el valor de la formación académica y cualificación obtenida a través de la experiencia profesional, actualmente es mayoritaria la opinión de que una combinación estratégica de ambas es la dirección correcta para el



## 5. Resultados

fortalecimiento de una organización (Heisig et al., 2019; Peschner y Fotakis, 2013).

Haciendo referencia a esta investigación en concreto, la capacitación profesional del centro tecnológico pretende evaluar cuál es la situación del equipo investigador del centro respecto a la tecnología que se está evaluando y, en caso de ser seleccionada, deberá desarrollarse por el equipo o una parte del mismo.

### Forma de valoración

El análisis para determinar si los profesionales están lo suficientemente cualificados se lleva a cabo haciendo referencia, por un lado, a su formación respecto a dicha tecnología y, por otro, a su experiencia trabajando con la misma.

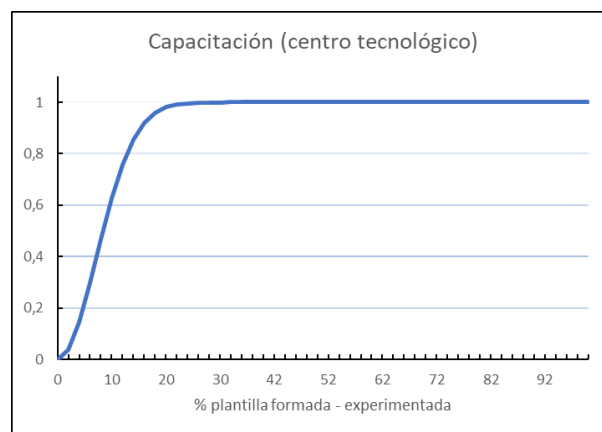
El centro tecnológico es el encargado de aportar en cada caso de estudio las capacidades de su personal en relación a la tecnología que se desee evaluar.

El funcionamiento de la tabla 27 es el siguiente: el centro tecnológico evalúa el porcentaje de plantilla investigadora que tiene formación en la tecnología en evaluación y el porcentaje de plantilla investigadora que tiene experiencia previa aplicable a la tecnología en evaluación. Se calcula la media entre ambos porcentajes y ese valor se introduce en la siguiente función de valor (figura 54), que responde a la ecuación 13).

**Tabla 27:** Valoración del indicador capacitación (centro tecnológico)

	Entrada de datos
% de plantilla formada	%
% de plantilla con experiencia previa	%

$$\text{capacitación profesional} = 1,000 \times \left[ 1 - e^{-20 \times \left( \frac{X - X_{min}}{45} \right)^2} \right] \quad 13)$$



**Figura 54:** Función de valor para representar el indicador capacitación (centro tecnológico)

Como se ve en la figura, se ha planteado una curva en “S” con una zona muy corta de baja valoración y un incremento importante a partir del 5%, que lleva a un valor máximo (1) a partir de un 20%. Esto es debido a que se ha considerado que, excepto casos de reorientación radical del centro, la adopción y desarrollo de una tecnología ocupará a un número limitado de

## 5. Resultados

investigadores en su inicio, llevando posteriormente a un crecimiento natural en capacitación y reclutamiento.

### ***Criterio Factores internos del CT. Indicador Equipamiento***

#### Descripción del indicador

El equipamiento científico es uno de los aspectos fundamentales para la competitividad de un centro tecnológico. De la misma forma que la formación académica y la estrategia de cualificación a través de la investigación son indispensables para el desempeño de un agente de investigación, el desarrollo de tecnologías diferenciadoras, necesarias para la competitividad y sostenibilidad del centro y sus clientes conlleva necesariamente disponer de un equipamiento de investigación, desarrollo y ensayo acorde con el nivel del equipo investigador y adecuado a las tecnologías a desarrollar en el centro (Yoon, 2018). Esta realidad lleva a que las políticas de las administraciones públicas potencien tanto la dotación de equipamiento a sus entidades investigadoras, como, cada vez con más intensidad, una política de máximo aprovechamiento de esos equipos a través de mecanismos de compartición (Anderegg et al., 2013; Yoon, 2017).

En esta línea de valorización de la importancia del equipamiento para el desarrollo no sólo de la ciencia sino también de la industria se enmarca la iniciativa de creación de los *Digital Innovation Hubs* (DIH) activada por la Comisión Europea (Hervas-Oliver et al., 2020), y en la que participa activamente el Gobierno Vasco a través del Basque Digital Innovation Hub (SPRI).

#### Forma de valoración

En este caso se propone que el centro tecnológico evalúe si el equipamiento del que dispone en el momento en el que aborda el proceso de evaluación de la tecnología, es el adecuado para el desarrollo de ésta. Se propone valorar dos aspectos: la disponibilidad de equipamiento directamente aplicable a la tecnología y la disponibilidad de equipamiento adaptable a la misma. Se propone una valoración directa, de forma que:

- Si se dispone de equipamiento, la valoración sea 1.
- Si se dispone de equipamiento adaptable, la valoración sea 0,6
- Si no se dispone de equipamiento, la valoración sea 0.

**Tabla 28:** Valoración del indicador equipamiento (centro tecnológico)

	Entrada de datos	Valor
Equipamiento disponible	Dedicado	1
	Adaptable	0,6
	Ninguno	0

***Criterio Factores internos del CT. Indicador Encaje con la estrategia***

*Descripción del indicador*

Las decisiones sobre tecnologías a desarrollar, clientes y mercados que abordar derivan en cualquier agente de investigación de su estrategia de negocio y, complementariamente, de su estrategia de investigación o, más aún, de gestión de la tecnología. La importancia de esta aproximación se recoge en múltiples trabajos de investigación referidos en esta tesis tanto en el análisis bibliográfico plasmado en el capítulo 2.2 (Cetindamar et al., 2016; Dickinson et al., 2001; Dodgson et al., 2008; Porter, 2006), como en la revisión bibliográfica llevada a cabo para la identificación de los factores clave (Davoudpour et al., 2012; Mohanty et al., 2005; Ordoobadi, 2012; Shehabuddeen et al., 2006).

Estos autores hacen hincapié al hecho de que la gestión estratégica de la tecnología y la innovación responde a una necesidad de asegurar la competitividad de los agentes de investigación y las empresas en un entorno global cada vez más competitivo y dinámico (Cetindamar et al., 2009; Robledo, 2017). Por ello, se hace necesario orientar de manera coordinada todas las actividades del centro hacia los objetivos marcados en la estrategia, tratando de evitar dispersiones. El desarrollo de las tecnologías, la captación y desarrollo de las personas y el talento, las relaciones con la industria y el mercado, la búsqueda de fuentes de financiación, las inversiones en equipamiento deben alinearse hacia los objetivos estratégicos.

En esta tesis se ha hecho también referencia al Programa Marco Horizon 2020, como instrumento de transmisión de las directrices que marca la Comisión Europea, y que constituye una importante referencia para la comunidad investigadora e industrial Europea, por los que son parte fundamental de los criterios sobre los que se define la estrategia de los centros tecnológicos y, en menor medida, las empresas. En la formulación del Programa H2020, la Comisión hizo hincapié en alinear las estrategias de la comunidad investigadora con el mercado, buscando acortar los plazos entre la generación del conocimiento y su introducción en el mercado y la sociedad. (CDTI, 2012).

Parece, por tanto, indiscutible que el alineamiento de las decisiones sobre las tecnologías a desarrollar con la estrategia del centro y, como se referirá más adelante, sus clientes, es un aspecto clave a considerar.

Se puede escalar el encaje con la estrategia en tres niveles. El primero es la compatibilidad entre las actividades y la estrategia general del centro tecnológico. Es decir, que las actividades sean coherentes y no vayan en detrimento de otras ni se contrarresten, logrando de esta manera reducir costos y aumentar la productividad.

El segundo tipo de encaje tiene lugar cuando las actividades se potencian entre sí. Por ejemplo, el desarrollo de tecnologías que a su vez sean complementarias.

Por último, está la optimización del esfuerzo, que hace referencia a la coordinación e intercambio de información entre las actividades que se desarrollen. Es decir, la comunicación

## 5. Resultados

interna entre los distintos equipos de trabajo.

### Forma de valoración

La valoración de este indicador se realiza mediante la siguiente función de valor (ecuación (14)):

$$\text{encaje con estrategia} = 1,000 \times \left[ 1 - e^{-4 \times \left( \frac{p}{85} \right)^8} \right] \quad (14)$$

El valor a introducir es el porcentaje de encaje con estrategia considerado por el analista del centro tecnológico, atendiendo a los criterios antes expuestos. La función que se presenta en la figura 55, es una curva en “S” con un valor bajo prácticamente hasta el 60% de encaje. Se propone esta forma para remarcar la importancia de que la tecnología seleccionada tenga un encaje alto con la estrategia definida, por lo que se penaliza severamente cuando el porcentaje de encaje comienza a disminuir.

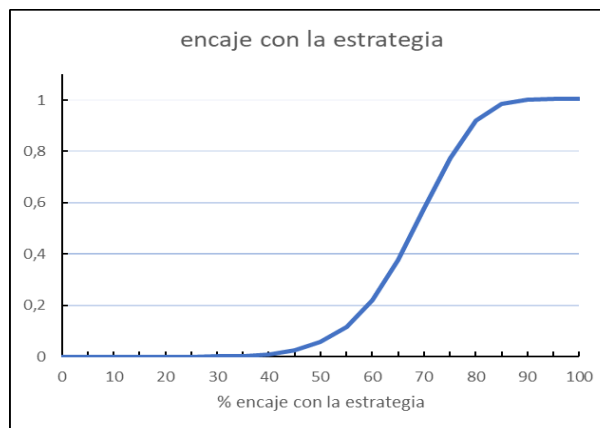


Figura 55: función de valor para el indicador encaje con la estrategia (centro tecnológico)

### **Criterio Factores internos del CT. Indicador Acceso al mercado**

#### Descripción del indicador

El indicador de acceso al mercado quiere representar el grado de cercanía que el centro tecnológico tiene con el mercado natural de la tecnología en evaluación. Para ello, se deben tener en cuenta las empresas que pueden explotar la tecnología a través del proceso de colaboración para la transferencia desde el centro tecnológico y la relación y acceso que el centro tiene a esas empresas.

Las relaciones entre agentes de investigación y empresas se han descrito en el capítulo 2.3, en el que se han descrito diferentes modelos de relación, desde la más básica contratación de proyectos puntuales (Siegel et al., 2003) hasta las colaboraciones más estables a través de modelos de compartición de la estrategia (Aranguren et al., 2013), constitución de equipos mixtos estables agente-empresa (Barnes et al., 2002) e incluso transferencia de investigadores como uno de los mecanismos más eficientes.

## 5. Resultados

### Forma de valoración

La forma de medir ese acceso a los clientes y el mercado se ha definido de forma gradual en función de las experiencias previas del centro con empresas y clientes pertenecientes al nicho de mercado de la tecnología que se esté analizando en cada caso, tal como se presenta en la figura 56.

	Entrada de datos	Valor
Proyectos puntuales	SI / NO	0,2
Clientes fidelizados	SI / NO	0,6
Colaboraciones estructurales	SI / NO	1

**Figura 56:** Valoración del indicador acceso al mercado

- Se valora con un valor bajo (0,2) en caso de que la experiencia previa se limite a actuaciones puntuales, con lo que se considera que el acceso al mercado es limitado.
- El siguiente nivel se otorga al caso en el que se disponga de clientes fidelizados, entendiéndose por ello, clientes con los que se realizan colaboraciones de manera no casual.
- El nivel más alto, al que se otorga el valor 1 es aquel caso en el que el centro dispone de acuerdos de colaboración estables con empresas.

### ***Criterio Factores internos del CT. Indicador Costes***

#### Descripción del indicador

En este apartado se van a evaluar todos los costes que afectan al desarrollo de la nueva tecnología en el centro tecnológico.

En primer lugar, hay que tener en cuenta los costes del personal que va a participar en el proyecto. Dependiendo de la cantidad de investigadores que se encuentren formados en la tecnología o dispongan de experiencia trabajando con esa tecnología, puede ser necesario llevar a cabo acciones de formación y capacitación, cuyo coste se incluye en este apartado. Asimismo, puede ser necesaria la contratación de investigadores, ya sea especializados en la tecnología para acelerar el proceso de desarrollo, como también investigadores noveles para incrementar la masa investigadora.

También hay que tener en consideración los costes del equipamiento. Valorando, tanto la inversión que haya que realizar en la adquisición de nueva maquinaria, como los costes de adecuación y mantenimiento de la ya existente.

Por último, hay que valorar los costes de desarrollo y pruebas a realizar antes del lanzamiento de la nueva tecnología al mercado.

#### Forma de valoración

Para llevar a cabo la valoración de este indicador se establecen los tres bloques descritos

## 5. Resultados

(personal, equipamiento y desarrollo) y, en función de la tecnología evaluada, cada uno tomará un peso, es decir, una importancia u otra.

El usuario evaluador de la tecnología valora el indicador según se presenta en la figura 57.

	Importancia	Valoración	
Costes de personal	%		(desplegable: alto, medio-alto, medio-bajo, bajo)
Costes de equipamiento	%		(desplegable: alto, medio-alto, medio-bajo, bajo)
Costes de desarrollo	%		(desplegable: alto, medio-alto, medio-bajo, bajo)

**Figura 57:** Valoración del indicador costes (centro tecnológico)

1. Cada coste se valora en cuatro niveles que el usuario selecciona de un desplegable (alto, medio-alto, medio-bajo y bajo) y a cada uno de ellos tiene asociado un valor entre 0 y 1 (alto:0, medio-alto: 0,3, medio-bajo: 0,7, bajo: 1).
2. El usuario de la herramienta introduce en la primera columna de "importancia" el porcentaje de importancia de cada uno de los tres costes. Se propone esta estructura de valoración para adaptarla a la realidad de la tecnología evaluada y la situación del centro tecnológico respecto a ella.

### ***Criterio Factores internos del CT. Indicador Timing***

#### Descripción del indicador

Este indicador hace referencia al tiempo necesario para desarrollar la tecnología. Cada tecnología va a necesitar unos tiempos de desarrollo diferentes, que dependerán de la propia tecnología y de la situación del centro tecnológico respecto a ella.

Se conoce como "*time to market*" al periodo de tiempo que pasa entre las primeras ideas sobre un producto (en este caso sobre una tecnología) y su disponibilidad real en el mercado de consumo. Las empresas se basan en la métrica del "time to market" para evaluar cómo se desarrollan los productos. Mejorar el "time to market" puede tener efectos drásticos en las ganancias y cuotas de mercado (Cohen et al., 1996). Tal como se plantea en esta tesis, el tiempo de maduración de la tecnología está relacionado con factores internos y externos del centro o entidad que la desarrolla e implementa (Deshpande, 2018).

Es importante que este periodo no se prolongue demasiado en el tiempo, ya que esto se traduce en una ventaja para la competencia, especialmente en los casos de innovación, permitiéndole llegar a los consumidores finales con antelación y ofrecerles en primer lugar el producto o servicio desarrollado.

#### Forma de valoración

La valoración de este indicador se lleva a cabo en base al nivel de TRL de la tecnología, evaluado en el indicador TRL-ciclo de desarrollo, y el TRL en que se encuentra la tecnología en el centro tecnológico. O más correctamente, el valor de TRL en que comenzaría el desarrollo de la tecnología en el centro tecnológico, en base a los conocimientos y capacidades del

## 5. Resultados

centro.

Se establecen dos posibles escenarios de partida. El primero consiste en que la tecnología que se va a desarrollar ya se aplique en el sector en el que se pretende desarrollar la misma. El otro es el caso contrario. Es decir, que la tecnología se pretenda desarrollar en un sector en el que no se había aplicado previamente.

### 1. La tecnología se ha aplicado previamente en el sector:

TRL de la tecnología	TRL9	Red	Red	Red	Orange	Orange	Orange	Yellow	Yellow	Green
	TRL8	Red	Red	Orange	Orange	Orange	Yellow	Yellow	Green	Green
	TRL7	Red	Orange	Orange	Orange	Yellow	Yellow	Green	Green	Green
	TRL6	Orange	Orange	Orange	Yellow	Yellow	Green	Green	Green	Green
	TRL5	Orange	Orange	Yellow	Yellow	Green	Green	Green	Green	Green
	TRL4	Yellow	Yellow	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
	TRL3	Yellow	Yellow	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
	TRL2	Yellow	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
	TRL1	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
		TRL1	TRL2	TRL3	TRL4	TRL5	TRL6	TRL7	TRL8	TRL9
TRL del centro tecnológico										

**Figura 58:** Matriz de evaluación del timing del centro tecnológico si la tecnología se ha aplicado previamente en el sector

Como se puede observar en la figura 58, la situación para el centro tecnológico es favorable siempre que se encuentre en un TRL igual o superior al de la tecnología. Sin embargo, en caso de que la tecnología se encuentre en un TRL muy avanzado, y el centro en uno muy básico, no va a resultar interesante desarrollar dicha tecnología, ya que va a ser necesario realizar notables esfuerzos para alcanzar un TRL avanzado y no se va a generar una innovación.

### 2. La tecnología no se ha aplicado previamente en el sector:

TRL de la tecnología	TRL9	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Green
	TRL8	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Green	Green
	TRL7	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Green	Green	Green
	TRL6	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Green	Green	Green	Green
	TRL5	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Green	Green	Green	Green	Green
	TRL4	Yellow	Yellow	Yellow	Green	Green	Green	Green	Green	Green
	TRL3	Yellow	Yellow	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
	TRL2	Yellow	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
	TRL1	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
		TRL1	TRL2	TRL3	TRL4	TRL5	TRL6	TRL7	TRL8	TRL9
TRL del centro tecnológico										

**Figura 59:** Matriz de evaluación del timing del CT si la tecnología no se ha aplicado previamente en el sector

Al igual que en el caso anterior, al centro tecnológico le resulta beneficioso situarse en un TRL igual o superior al de la tecnología. Sin embargo, el hecho de que la tecnología esté más avanzada no tiene efectos tan negativos sobre el centro. Esto se debe a que los esfuerzos necesarios para alcanzar dicho TRL se van a ver compensados con la ventaja de ser pioneros en esa aplicación concreta.

## 5. Resultados

Una vez que se haya seleccionado la matriz adecuada, la valoración del indicador es la siguiente:

**Tabla 29:** Valoración del indicador “timing” (centro tecnológico)

Verde	1
Amarillo	0,7
Naranja	0,3
Rojo	0

### 5.3.2.3 Requerimiento: Factores propios de los clientes potenciales

#### ***Criterio Factores internos de los clientes. Indicador Capacitación Profesional***

##### Descripción del indicador

El concepto de capacitación profesional en este caso es el mismo que se ha expuesto en el caso del centro tecnológico, pero aplicado a los clientes potenciales clientes e industrializadores de la tecnología desarrollada. Es decir, hace referencia al conocimiento de éstos respecto a la tecnología que van a adquirir.

##### Forma de valoración

Cabe destacar que el análisis llevado a cabo en este caso no es exactamente el mismo que para la capacitación profesional en el centro tecnológico. Esto se debe a que el centro tecnológico que utiliza esta herramienta para evaluar las tecnologías lógicamente no dispone para valorar a sus clientes de los datos ni el conocimiento de detalle como sí ocurre en el caso de la valoración de este indicador del propio centro. Por lo tanto, esta valoración es más estimativa, a través del conocimiento o la percepción que puede tener de sus clientes. En este caso se va a hacer referencia al nivel de formación de los clientes en la tecnología y al nivel de experiencia de los mismos trabajando con la tecnología. Ambos aspectos se clasifican en una escala subdividida en 4 niveles: alto (valor 1), medio-alto (valor 0,8), medio-bajo (valor 0,4) y bajo (valor 0). Y tratándose de la valoración de empresa, se le ha asignado una importancia del 40% a la formación y un 60% a la experiencia.

	Valoración	
Nivel de formación en la tecnología		(desplegable: alto; medio-alto; medio-bajo; bajo)
Nivel de experiencia previa en la tecnología		(desplegable: alto; medio-alto; medio-bajo; bajo)

**Figura 60:** Valoración del indicador capacitación profesional (clientes)

#### ***Criterio Factores internos de los clientes. Indicador Equipamiento***

##### Descripción del indicador

Cuando un cliente adquiere una nueva tecnología, tiene que valorar si ya dispone del equipamiento productivo necesario para trabajar con ella o va a necesitar realizar nuevas



## 5. Resultados

inversiones que le permitan implantar e industrializar la tecnología. Asimismo, cabe la posibilidad que se disponga de equipamiento que con ligeras adaptaciones sea válido y no haga falta invertir en maquinaria nueva.

### Forma de valoración

Al igual que ocurre en el caso de la capacitación profesional, los datos de los que un centro tecnológico dispone respecto al equipamiento de sus clientes son limitados, por lo que la valoración se realiza de manera estimativa sin entrar en detalle a partir de datos. De este modo, se ha establecido una valoración análoga a la utilizada para la capacitación profesional:

1. Se valoran dos aspectos: disponibilidad de equipamiento compatible y disponibilidad de equipamiento adaptable.
2. La valoración se hace a través de un menú desplegable con cuatro opciones, cada una de ellas con una valoración entre 0 y 1: alta (1), media-alta (0,7), media-baja (0,3), baja (0).
3. La disponibilidad de equipamiento compatible se pondera con un 70% y la disponibilidad de equipamiento adaptable con un 30%.

	Valoración	
Disponibilidad de equipamiento compatible		(desplegable: alto; medio-alto; medio-bajo; bajo)
Disponibilidad de equipamiento adaptable		(desplegable: alto; medio-alto; medio-bajo; bajo)

**Figura 61:** Valoración de indicador equipamiento (clientes)

### ***Criterio Factores internos de los clientes. Indicador Encaje con la estrategia***

#### Descripción del indicador

La descripción del indicador realizada para el centro tecnológico es totalmente válida para el caso de sus empresas cliente. El encaje con la estrategia de la empresa en cualquier proceso de toma de decisión y, en este caso sobre la adopción de una tecnología a través de la transferencia desde un centro tecnológico es fundamental para evitar destinar importantes recursos de desarrollo, producción, marketing y comercialización en tecnologías que, puedan estar fuera del núcleo estratégico de la empresa dando lugar a ineficiencias y discontinuidades en su desarrollo (Teece et al., 2009). En este mismo sentido se formula la importancia de disponer de una estrategia tecnológica derivada de la estrategia global, sobre la que desarrollar las apuestas tecnológicas, y las colaboraciones estratégicas con agentes de investigación y partners tecnológicos (Martínez-Noya y Narula, 2018).

#### Forma de valoración

Atendiendo a este razonamiento, la valoración del indicador se plantea con una curva en “S” similar a la utilizada para el centro tecnológico.

El valor a introducir es el porcentaje de encaje con estrategia considerado por el analista del centro tecnológico. La función que se presenta en la figura 62, es una curva en “S” con un valor

## 5. Resultados

bajo prácticamente hasta el 60% de encaje. Se propone esta forma para remarcar la importancia de que la tecnología seleccionada tenga un encaje alto con la estrategia definida, por lo que se penaliza severamente cuando el porcentaje de encaje comienza a disminuir.

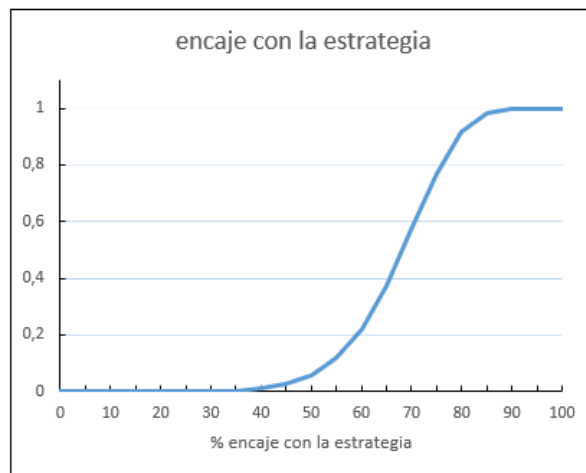


Figura 62: función de valor para el indicador encaje con la estrategia (clientes)

### ***Criterio Factores internos de las empresas cliente. Indicador costes***

#### Descripción del indicador

El objetivo de este indicador es valorar los costes referentes a la implantación de la nueva tecnología en las empresas cliente.

En primer lugar, hay que tener en cuenta los costes de personal que va a suponer la nueva adquisición, ya que en función de lo novedosa o compleja que resulte, puede ser necesaria la contratación de personal experto. Además, al igual que en el caso del centro tecnológico, hay que analizar la posibilidad de tener que ofertar cursos formativos que permitan capacitar a los trabajadores en la tecnología adquirida. Por otro lado, estos costes también incluyen el equipamiento nuevo que sea necesario, así como el coste del mantenimiento del que ya se dispone y los gastos necesarios para la adaptación del que lo requiera.

#### Forma de valoración

Los costes en el caso de los clientes siguen el mismo esquema que en el caso de centro tecnológico desarrollador de la tecnología y la metodología de evaluación del indicador también es similar a la expuesta en ese caso.

Para llevar a cabo la valoración de este indicador se establecen los tres bloques descritos (personal, equipamiento e industrialización) y, en función de la tecnología evaluada, cada uno tomará un peso, es decir, una importancia u otra.

## 5. Resultados

El usuario evaluador de la tecnología valora el indicador según se presenta en la figura 63.

	Importancia	Valoración	
Costes de personal	%		(desplegable: alto, medio-alto, medio-bajo, bajo)
Costes de equipamiento	%		(desplegable: alto, medio-alto, medio-bajo, bajo)
Costes de industrialización	%		(desplegable: alto, medio-alto, medio-bajo, bajo)

**Figura 63:** Valoración del indicador costes (clientes)

1. Cada coste se valora en cuatro niveles que el usuario selecciona de un desplegable (alto, medio-alto, medio-bajo y bajo) y a cada uno de ellos tiene asociado un valor entre 0 y 1 (alto:0, medio-alto: 0,3, medio-bajo: 0,7, bajo: 1).
2. El usuario de la herramienta introduce en la primera columna de "importancia" el porcentaje de importancia de cada uno de los tres costes. Se propone esta estructura de valoración para adaptarla a la realidad de la tecnología evaluada y la situación de los clientes del centro tecnológico respecto a ella.

### ***Criterio Factores internos de los clientes. Requerimiento Timing***

#### Descripción del indicador

Con este indicador se trata de representar el tiempo que puede ocupar el proceso de transferencia desde el centro tecnológico, o adopción desde la empresa, hasta su presentación en el mercado, pasando por las fases de desarrollo industrial, industrialización y comercialización.

Este tiempo que tal como se ha explicado en el caso del centro tecnológico, es un factor crítico para que la tecnología proporcione la ventaja competitiva que cualquier apuesta por una nueva tecnología, producto o servicio conlleva asociada.

#### Forma de valoración

La valoración del timing se plantea de manera similar a la valoración realizada para el indicador de costes. Se propone plantear tres factores que son el tiempo de desarrollo (incluye la transferencia), el tiempo de industrialización y el tiempo de comercialización. El tiempo de desarrollo puede asociarse a la fase de evolución del TRL4-5 en que se realiza la transferencia hasta el TRL6-7, y el tiempo de industrialización correspondería a la fase hasta alcanzar el TRL8. La fase de comercialización e implantación en el mercado es la que lleva a la empresa a alcanzar el TRL9 de la tecnología.

El usuario evaluador de la tecnología valora el indicador según se presenta en la figura 64.

	Importancia	Valoración	
Tiempo de desarrollo	%		(desplegable: alto, medio-alto, medio-bajo, bajo)
Tiempo de industrialización	%		(desplegable: alto, medio-alto, medio-bajo, bajo)
Tiempo de comercialización	%		(desplegable: alto, medio-alto, medio-bajo, bajo)

**Figura 64:** Valoración del indicador timing (clientes)

## 5. Resultados

---

1. Cada coste se valora en cuatro niveles que el usuario selecciona de un desplegable (alto, medio-alto, medio-bajo y bajo) y a cada uno de ellos tiene asociado un valor entre 0 y 1 (alto:0; medio-alto: 0,3; medio-bajo: 0,7; bajo: 1).
2. El usuario de la herramienta introduce en la primera columna de "importancia" el porcentaje de importancia de cada uno de los tres costes. Se propone esta estructura de valoración para adaptarla a la realidad de la tecnología evaluada y la situación de los clientes del centro tecnológico respecto a ella y el mercado objetivo.

### 5.3.2.4 **Conclusiones del modelo configurado**

Se ha desarrollado un modelo de evaluación y valoración de una o varias tecnologías siguiendo la metodología MIVES. Para ello, se han ido completando las siguientes actividades:

1. Se ha llevado a cabo una revisión de la literatura para una primera selección de factores clave para la configuración de la estructura jerárquica de valoración. Esta revisión bibliográfica, se ha centrado en la búsqueda de factores clave en trabajos orientados a la selección de tecnologías, y se ha complementado con factores clave identificados en el análisis bibliográfico, en particular en los capítulos relacionados con la capacidad de absorción y las relaciones entre agentes de investigación y empresas.

El resultado de esta revisión de la literatura ha sido una selección de los factores más citados y la agrupación de factores similares bajo los conceptos que se proponen como factores a analizar en la siguiente actividad por el panel de expertos.

2. La siguiente actividad ha consistido en la evaluación y selección de factores por parte de un panel de expertos, siguiendo la metodología Delphi, que se recomienda utilizar en el método MIVES. Se ha seleccionado un panel de expertos que aportan el conocimiento y la experiencia en los aspectos clave de la estructura del modelo de evaluación: expertos de universidad, que aportan la visión más científica, expertos de centros tecnológicos, núcleo y destinatarios objetivo de la investigación y el modelo desarrollado, expertos de empresa, como destinatarios finales del desarrollo de cualquier tecnología, y expertos de entidades de promoción y transferencia, con su visión del mercado y de las relaciones empresa-centro.

Hay que destacar que el proceso Delphi se ha completado en dos rondas de convergencia hacia el consenso, siendo orientado hacia la selección de los factores más significativos de las tres áreas (requerimientos en la terminología MIVES) tecnología, centro tecnológico y clientes potenciales, bajo el criterio de buscar un número de indicadores que responda a la recomendación de evitar un número elevado (no superior a veinte según las orientaciones de MIVES).

El aspecto más importante del proceso de selección es la eliminación de los factores relacionados con el impacto en el centro tecnológico y los clientes, al considerarse por los expertos que estos son variables resultado del acierto en la selección de la

## 5. Resultados

---

tecnología y no factores que caractericen el sistema tecnología-centro-empresa.

El resultado del proceso Delphi ha sido el árbol jerárquico que configura el modelo MIVES, y una primera ponderación de los requerimientos, criterios e indicadores, que ha servido como referencia para la asignación de pesos posterior.

3. Sobre el árbol jerárquico obtenido de la revisión de la literatura y el posterior refino por el panel de expertos, se ha construido el modelo MIVES, en los siguientes pasos:

- a. Asignación de pesos a indicadores, criterios y requerimientos. Se ha seguido para ello el método de comparación por pares, que propone la metodología AHP, incorporada por MIVES. Cabe destacar que MIVES dispone de herramientas para facilitar esta actividad, evitando caer en inconsistencias en las comparaciones cruzadas.
- b. Valoración de los indicadores. De nuevo, MIVES permite una especial flexibilidad en la valoración de los indicadores, ya que permite tanto asignar funciones de valor como valores numéricos directos.

En esta actividad de valoración de los indicadores se ha procurado primar la utilidad de uso posterior del modelo, basando las valoraciones en datos públicos de fácil acceso o en estimaciones guiadas por el modelo, que en cualquier caso deben permitir al futuro usuario resolver un caso de evaluación de tecnologías en un tiempo que puede estimarse inferior a una jornada de trabajo.

### 5.4 Fase de Validación.

Esta última fase de la investigación se desarrolla a través de las siguientes actividades:

1. La aplicación del modelo MIVES desarrollado a dos casos de estudio. En la terminología MIVES estos casos de estudio son las alternativas a valorar, ya sea individualmente o ambas a la vez. El método MIVES proporciona un índice de valoración para cada una de las alternativas individualmente, con un valor entre 0 y 1, y que en este modelo se ha denominado "Índice de Adopción de la Tecnología" (IAT) (figura 32).
2. El análisis de sensibilidad del modelo, que la propia metodología MIVES recomienda, como opcional dentro del proceso de aplicación de método. El análisis de sensibilidad permite comprobar la estabilidad, solidez y fiabilidad del modelo, verificando que pequeños cambios en los pesos relativos o los valores de las funciones de valor no provoquen grandes cambios en el índice de valoración global.
3. El análisis de la perspectiva temporal sobre la evolución de la decisión tomada sobre las tecnologías evaluadas y el proceso de evaluación completado en esta investigación.
4. La verificación de la validez de las hipótesis de investigación formuladas como soporte de los objetivos de la investigación.

### 5.4.1 Aplicación a dos casos de estudio

La fase final de aplicación de un modelo MIVES consiste en la definición y valoración de las alternativas, que pueden ser varias (tantas como se considere) o una única. El modelo no hace una valoración comparativa, sino que se ejecuta para alternativa individualmente, calculando el índice global. Como se ha indicado en la descripción de la metodología MIVES esta es una característica particular del método, la construcción del modelo completo independientemente y antes de la identificación de las alternativas (Viñolas et al., 2009).

A lo largo de este documento se ha indicado que el método planteado y desarrollado en esta investigación está orientado tanto a la valoración de varias tecnologías, que pueden ser alternativas entre sí, a la valoración de tecnologías totalmente diferentes o a la valoración de una única tecnología individualmente. Se trata de poderlo aplicar en procesos estructurados como una reflexión estratégica, caso en el que se valoran habitualmente varias tecnologías potenciales, así como en situaciones puntuales en las que se identifica, en el desarrollo de la actividad continua (la Vigilancia Tecnológica o las actualizaciones de los Estados del Arte asociadas a proyectos de investigación y propuestas para la administración pública) una o varias nuevas tecnologías que pueden resultar interesantes para el centro y, por tanto, son propicias para una valoración. Con el objetivo de dotar de la usabilidad que requieren estas actuaciones se ha seleccionado la metodología MIVES y se han definido unos criterios de valoración de los indicadores ágiles.

Bajo estas premisas, se han seleccionado dos casos de estudio de tecnologías no alternativas o competidoras entre sí, sino independientes, que podrían ubicarse en los dos contextos de reflexión reflejados en el párrafo anterior.

Por otra parte, es importante señalar antes de entrar en la descripción de los casos de estudio, que se han seleccionado como tales dos tecnologías que fueron adoptadas para su desarrollo en los años 2008-2009, en la formulación del Plan de Investigación cuatrienal del centro tecnológico Ideko, incluido en el correspondiente Plan Estratégico. La selección de estas dos tecnologías como casos de estudio responde a que, a pesar de los años transcurridos, se dispone de los datos necesarios para completar la valoración de los indicadores y, adicionalmente, se dispone de la perspectiva en el tiempo que permite analizar la evolución de ambas tecnologías en el centro. Esta perspectiva temporal no constituye un criterio de validación como tal, ya que el modelo no está destinado a predecir la evolución futura de los factores que rigen la evaluación (evolución de las tecnologías, estrategias de los clientes y el mercado), pero sí proporciona una información de la evolución real que, comparada con la valoración realizada en la aplicación del modelo, aporta un valor añadido a la evaluación de su comportamiento.

#### 5.4.1.1 Presentación de los casos de estudio

##### ***Caso de estudio 1: Tecnología de fabricación aditiva “Laser Cladding”***

## 5. Resultados

---

La tecnología *Laser Cladding*, también denominada *Laser Metal Deposition* (LMD) es una de las subfamilias incluidas en las tecnologías de Fabricación Aditiva o *Additive Manufacturing* (AM). A continuación, con la finalidad de contextualizar este proyecto desarrollado por Ideko, se expone una breve descripción sobre la Fabricación Aditiva y, en particular, sobre *laser cladding*.

La Fabricación Aditiva comprende una variedad de procesos basados en añadir material de forma selectiva, formando un objeto mediante la superposición de capas sucesivas de material a partir de un modelo digital. A diferencia de los métodos tradicionales de fabricación se añade el material en lugar de eliminarse (ADDIMAT, 2019). La fabricación aditiva ha supuesto una revolución en la fabricación de piezas debido a la gran variedad de formas y estructuras que permite realizar frente a los procesos tradicionales, sin prácticamente limitaciones en cuanto a la complejidad de formas fabricables. Otras características destacables de estos procesos de fabricación son los excelentes aprovechamientos de material que permiten, la creación de piezas multimateriales o la reparación de grandes piezas de alto valor añadido. Además, las diferentes técnicas que componen la fabricación aditiva son aplicables a materiales metálicos, plásticos, cerámicos, compuestos e híbridos, con lo que son técnicas aplicables en un gran número de sectores industriales entre los que destacan sectores de alto valor añadido, como la biomedicina y la aeronáutica. La industria aeronáutica visualiza fundamentalmente dos ventajas en la fabricación aditiva, la mejora sustancial del conocido como “buy-to-fly ratio”, reduciendo la relación entre el coste de la materia prima y la pieza final, acompañado del aligeramiento de componentes con la consiguiente ventaja en la reducción del consumo y las emisiones. En el caso de la industria biomédica, la personalización individualizada de implantes, prótesis y dispositivos como audífonos, así como la posibilidad de construir estructuras de material “cavernosas” que facilitan la osteointegración son las principales ventajas observadas.

Frente a las ventajas referidas, cabe señalar también las limitaciones, fundamentalmente la baja tasa de producción frente a procesos como la fundición o forja, las elevadas tolerancias dimensionales y de calidad superficial, y el elevado coste de los materiales, en particular en el caso de los metales. Así mismo, en las aplicaciones más exigentes, los procesos de homologación y certificación suponen también una limitación para su aplicación.

## 5. Resultados

El término fabricación aditiva agrupa a varias familias de procesos. La clasificación más extendida es la propuesta por la *American Society for Testing and Materials* (AM-Platform, 2013; ASTM International, 2012):

**Tabla 30.** Clasificación de los procesos de Fabricación Aditiva según ASTM (ASTM International, 2012)

Process Type	Technique Definition	Example Technology	Material
Vat Photopolymerisation	Liquid photopolymer in a vat is selectively cured by light-activated polymerisation	Stereo lithography (SLA), digital light processing (DLP)	Polymers and ceramics
Material Jetting	Droplets of build material are selectively deposited	3D inkjet printing	Polymers and composites
Binder Jetting	Liquid bonding agent is selectively deposited to join powder materials	3D inkjet printing	Metals, polymers, ceramics
Material Extrusion	Material is selectively dispensed through a nozzle or orifice	Fused deposition modelling (FDM)	Polymers
Powder Bed Fusion	Thermal energy selectively fuses regions of a powder bed	Selective laser sintering (SLS), selective laser melting (SLM), electron beam melting (EBM)	Metal, polymer, composites, ceramics
Sheet Lamination	A process in which sheets of material are bonded to form an object	Ultrasonic consolidation (UC)	Hybrids, metals, ceramics
Direct Energy Deposition	A process that focused thermal energy and fuses materials by melting as the material is being deposited	Lased metal deposition (LMD)	Metals and hybrid metals

Dentro de la fabricación de metales, las dos técnicas más extendidas son *Powder Bed Fusion* y *Directed Energy Deposition* (*Laser Metal Deposition* o *Laser Cladding*).

El *Laser Cladding* es un proceso mediante el cual un rayo láser es utilizado como fuente de energía para formar una piscina de fusión (*melt pool*) a partir de un polvo metálico (o un filamento, en aplicaciones menos extendidas) proyectado sobre la superficie base de un sustrato metálico, como se puede ver en la figura 65. Las principales aplicaciones son la reparación de piezas dañadas, la generación de recubrimientos con características funcionales especiales como mayor dureza o textura especial, y la fabricación directa de componentes metálicos. Es un método de fabricación de forma libre que permite fabricar componentes metálicos directamente a partir de archivos CAD tridimensionales mediante la adición de materiales capa por capa. El polvo metálico es en la mayoría de los casos alimentado coaxialmente por un gas portador (Zhong et al., 2020). En materiales como las aleaciones de titanio, para evitar la oxidación, la piscina de fusión debe estar protegida de la atmósfera por un gas inerte (Yu et al., 2012). El *Laser Cladding* presenta una serie de ventajas sobre otros procesos de fabricación aditiva:

1. La flexibilidad en cuanto a la forma y tamaño de las piezas a fabricar. Respecto al tamaño, en principio no existe limitación, ya que el cabezal puede montarse y desplazarse en cualquier máquina o robot.



## 5. Resultados

2. La afección térmica sobre la pieza es menor, al aplicarse sobre un punto focal relativamente reducido frente al sustrato base.
3. La mayor tasa de enfriamiento, que conduce a una microestructura más fina, y esto es generalmente positivo para el comportamiento mecánico de las piezas (Gasser et al., 2010)

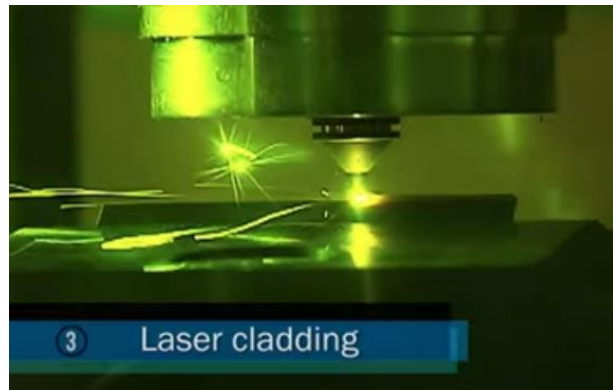


Figura 65: Proceso de reparación de álabes por *Laser Cladding*, Fuente: Ideko

En el año 2009, a pesar de que las principales ventajas que podía aportar este tipo de fabricación eran conocidas, sus aplicaciones industriales eran aún incipientes. Ante esta coyuntura, Ideko dentro de su reflexión estratégica decidió iniciar una línea de desarrollo de la tecnología. Los motivos decisivos fueron lo que se exponen a continuación:

- La flexibilidad de la tecnología permite visualizar una adaptación a la máquina herramienta, en dos vertientes: máquina aditiva y/o máquina híbrida que combina el mecanizado y el proceso aditivo para conseguir las tolerancias finales.
- Los sectores más activos en la tecnología aditiva (aeronáutica, automoción, moldes) son sectores estratégicos en los que las principales empresas cliente del centro está adecuadamente posicionadas.
- Las empresas cliente del centro buscan como estrategia de crecimiento la diferenciación tecnológica y la búsqueda de nichos de especialización (sectorial y tecnológica).
- La tecnología laser es conocida en Ideko, por estar ya investigando en procesos de corte de chapa con fuentes laser.

### ***Caso de estudio 2: Tecnología de micromecanizado por corte (microfresado, microtorneado)***

La tendencia de diseño hacia la miniaturización, en un gran número de productos actuales, ha supuesto una necesaria revolución en el ámbito de las tecnologías de micro-fabricación, tanto en relación al desarrollo y aplicación de nuevas tecnologías (no convencionales como EDM, láser), como la adaptación y optimización de las tecnologías convencionales de mecanizado (fresado, torneado,...), para cumplir con las exigencias dimensionales, de precisión, calidad superficial, etc. En ese sentido, las tecnologías de mecanizado convencionales, llevadas a un

## 5. Resultados

marco de ultraprecisión, siguen ofreciendo una mayor versatilidad, rapidez y calidad en la generación de rasgos complejos microdimensionales, en una amplia variedad de materiales, frente a las limitaciones de tecnologías más modernas.

El microfresado, en contrapartida al fresado convencional, se basa en el arranque de material con herramientas de muy reducido tamaño (diámetro entre  $50\mu\text{m}$  y  $3\text{mm}$ ). El microfresado es una tecnología flexible y rápida para la fabricación de componentes con rasgos con dimensiones que van desde unas decenas de micras, hasta unos pocos milímetros, en una amplia gama de materiales (aleaciones metálicas, composites, polímeros y cerámicas), siendo variado su campo de aplicación (moldes para micro-inyección, componentes para óptica, industria aeroespacial, electrónica y biomédica) (Cardoso y Davim, 2012).

Asimismo, el proceso de microfresado supone un cambio conceptual importante en relación al fresado convencional, no pudiendo aplicarse en absoluto un escalado dimensional del proceso (Khan et al., 2019). La relación dimensional entre la geometría y tamaño de la herramienta con la formación de viruta, en incluso con la microestructura del material, hace que el mecanismo de arranque de material esté sometido a factores específicos (Dhanorker y Özel, 2008).

El microtorneado es un método de micromecanizado utilizado para producir piezas cilíndricas de dimensiones en el orden de los milímetros. Dadas las dimensiones de la pieza y la herramienta, es un proceso de acabado, que no requiere de un rectificado posterior, como sí ocurre habitualmente en el torneado convencional.

De manera análoga al microfresado, la mayor particularidad del proceso se encuentra en la relación de tamaño entre el filo de corte, la viruta y la microestructura de la pieza, como se puede ver en la figura 66. Esto conlleva efectos relacionados con la formación de viruta, los ángulos efectivos de corte, el reparto de fuerzas y el mecanismo de arranque que no son escalables del torneado convencional y requieren un esfuerzo de investigación significativo (Aslantas et al., 2020; Wu et al., 2016).

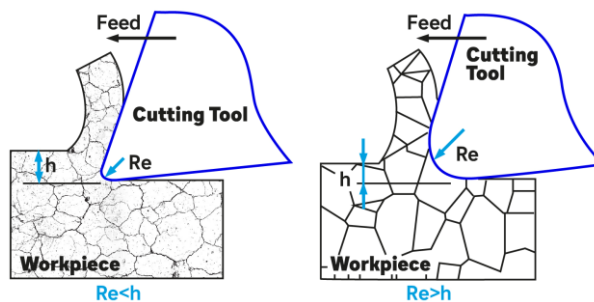


Figura 66: Relación de aspecto en torneado convencional y microtorneado

El proceso de microtorneado más extendido es el que se lleva a cabo con una herramienta de punta de diamante, orientado al mecanizado de metales no ferrosos (la afinidad del hierro con el carbono provoca la descarburización de las herramientas de diamante, haciéndolas incompatibles), tales como aluminio, bronce, cerámica, para aplicaciones de electrónica y, fundamentalmente óptica (tanto moldes para la producción seriada de lentes, como

## 5. Resultados

mecanizado de las propias lentes), dada la capacidad que ofrece de obtener acabados especulares.

Alrededor del año 2000 y la siguiente década se produjo un importante impulso investigador en las tecnologías relacionadas con la miniaturización, con múltiples propuestas e iniciativas alrededor de las micro y nano tecnologías, impulsadas por el auge de las biociencias y la microelectrónica (Cámara et al., 2012). También las administraciones públicas potenciaron el desarrollo de estas tecnologías en sus programas de investigación, con la Comisión europea a la cabeza (MANUFUTURE-EU, 2006). Dentro de esta corriente se integraron múltiples tecnologías entre ellas el micromecanizado.

En ese escenario, a finales de la década de 2000, Ideko decidió hacer una apuesta por el micromecanizado, más concretamente el desarrollo del conocimiento en diseño de máquinas y procesos que pudiera permitir a sus clientes, desarrollar y comercializar máquinas para el microfresado y microtorneado. La decisión estaba soportada en las siguientes consideraciones:

- La tendencia impulsora que se había producido en los últimos años, especialmente la última década, parecía respaldada por una perspectiva de crecimiento de mercado muy prometedora.
- Las administraciones públicas estaban apostando por estas tecnologías como un eje importante de desarrollo, relacionado con la competitividad basada en producto diferenciador, tecnológico y de alto valor añadido.
- Tecnológicamente, abría una nueva línea de investigación en el centro y podía abrir nuevas líneas de negocio en algunos de sus clientes estratégicos.
- Incluso ante la incertidumbre frente a unas perspectivas que en el entorno aún no se estaban materializando industrialmente, se consideró que el conocimiento que se generaría sería trasladable y aprovechable en el futuro en otras tecnologías nucleares de Ideko como la precisión y el rectificado.

### **5.4.1.2 Resultados de aplicación del modelo a los casos de estudio**

Tras esta introducción a los dos casos de estudio, se procede al análisis de los indicadores, en base al modelo expuesto anteriormente, siendo el modelo completado a modo de usuarios de la herramienta por el equipo de Ideko, en disposición de los datos y la referencia de situación respecto a los diferentes indicadores en el momento en que se tomó la decisión de apostar por las tecnologías evaluadas, en los años 2008-2009.

A continuación se recopilan los resultados de la valoración de cada indicador para los dos casos de estudio. Se presentan en un formato de tabla conjunta para una comprensión más simple del documento, pero no sería correcto interpretar esta representación como un ejercicio de valoración conjunta o comparativa de las tecnologías, ya que esta interpretación no sería acorde con el escenario real, en el que el análisis de las tecnologías y la toma de decisión

## 5. Resultados

siguieron procesos independientes, si bien finalmente se integraron en el Plan de Investigación cuatrienal.

### **Indicador TRL - Ciclo de desarrollo:**

La valoración de este indicador se lleva a cabo a través de una curva en “S” (figura 45) en la que se introduce como dato la consideración de la situación de la tecnología, dentro del escenario internacional, en la escala TRL.

El resultado de la valoración del indicador para ambas tecnologías se presenta en la tabla 31.

**Tabla 31:** Resultado de la valoración de los casos de estudio para el indicador TRL – ciclo de desarrollo

TRL – CICLO DE DESARROLLO	Tecnología	Laser Cladding	Micromecanizado
	Valoración	El TRL de la tecnología en el escenario internacional se ha considerado en un valor TRL4, con numerosas referencias científico-técnicas, pero demostraciones industriales anecdóticas.	El TRL de la tecnología en el escenario internacional se ha considerado en un valor TRL7, con significativas demostraciones industriales (prototipos de máquinas presentados en ferias internacionales como la EMO) y limitadas aplicaciones comerciales de pequeñas empresas muy especializadas
	Fuente de información	Wohlers Report 2009 (Wohlers, 2009); Informe WTEC (Dodabalapur et al., 2008)	Factories of the Future Strategic Research Agenda (FoF, 2012); Additive Manufacturing Review 2009 (Bourell et al., 2009)
	Resultado	0,937	0,035

### **Indicador Riesgo Tecnológico**

La valoración de este indicador se realiza basándose en la matriz de riesgos (figura 46). Las probabilidades y consecuencias de que ese riesgo se materialice se clasifican en 4 niveles de menor a mayor importancia: despreciable, limitada, significativa y máxima, teniendo cada uno de ellos asignado un valor del 1 al 4. Se valoran dos factores: riesgo de no convergencia de la tecnología y riesgo de incurrir en sobre costes y se obtiene el valor medio entre ambos. El valor de riesgo obtenido se introduce en una función de valor, en este caso lineal (figura 47).

El resultado de la valoración del indicador para ambas tecnologías se presenta en la tabla 32.

**Tabla 32:** Resultado de la valoración de los casos de estudio para el indicador Riesgo Tecnológico

RIESGO TECNOLÓGICO	Tecnología	Laser Cladding	Micromecanizado
	Valoración	La valoración del riesgo para la tecnología Laser Cladding ha sido de 5, considerando que tanto el riesgo de no convergencia de la tecnología como el riesgo de sobrecostes es muy limitado, con una consecuencia también limitada en ambos casos.	La valoración del riesgo para la tecnología Micromecanizado ha sido de 7,5, como media entre una valoración de 9 para el riesgo de no convergencia y 6 para el riesgo de sobrecostes.
	Fuente de información	Valoración por parte del equipo de evaluación de la tecnología	Valoración por parte del equipo de evaluación de la tecnología

## 5. Resultados

	Resultado	0,562	0,375
--	-----------	-------	-------

### **Indicador Originalidad**

La valoración se lleva a cabo a partir de una curva en "S" (figura 48) en la que se introduce como dato de entrada las publicaciones referidas a la tecnología.

El resultado de la valoración del indicador para ambas tecnologías se presenta en la tabla 33.

**Tabla 33:** Resultado de la valoración de los casos de estudio para el indicador Originalidad

ORIGINALIDAD	Tecnología	Laser Cladding	Micromecanizado
	Valoración	Se encuentran 699 publicaciones que contengan "Laser Cladding" o "Laser Metal Deposition" en su título, en el período hasta 2009	Se encuentran 307 publicaciones que contengan "Micromachining" o "Micro milling" o "Micro turning" en su título, en el período hasta 2009
	Fuente de información	Base de datos de Web of Science	Base de datos de Web of Science
	Resultado	0,977	0,999

### **Indicador Potencial de extensión**

Se ha adoptado como valor a considerar por el usuario el número de tipos de máquina sobre los que la tecnología puede aplicarse, considerando el número de variantes de cada tipo de máquina que se presentan en la tabla 25. El valor que se obtiene de la tabla se introduce en la función de valor, que para este indicador se ha considerado proponer una función lineal (figura 49), en la que el máximo está marcado por el número total de variantes de máquina.

En este caso, el número de máquinas sobre el que se ha entendido por parte del equipo de evaluación que puede aplicarse la tecnología, se presenta en la tabla 34.

**Tabla 34:** Tipos de máquinas en los que son aplicables las tecnologías en evaluación

Tipo de máquina	Nº variantes	Volumen de negocio	Laser Cladding	Micromecanizado
Tornos	64	14,38%	X	X
Fresadoras	70	15,46%	X	X
Mandrinadoras	10	1,73%		
Taladros	16	3,24%		
Roscadoras	22	4,45%		
Rectificadoras	31	6,28%		X
Afiladoras, pulidoras y amoladoras	18	3,64%		
Centros de mecanizado	13	5,64%	X	X
Máquinas especiales y máquinas transfer	18	6,87%	X	
Brochadoras	5	1,01%	X	
Máquinas de	3	0,61%		

## 5. Resultados

electroerosión				
Máquinas de centrar y refrentar	3	0,61%		
Prensas mecánicas	7	12,79%	X	
Prensas hidráulicas	40	6,78%	X	
Servoprensas	6	4,56%	X	
Líneas de prensas	3	0,61%	X	
Máquinas para el trabajo de chapa	99	5,64%		
Líneas de corte con prensa	1	0,20%		
Máquinas para el trabajo de barras, perfiles y tubos	34	1,36%		
Máquinas para fabricación de tornillos y pernos	3	0,61%		
Máquinas para grabar, marcar y/o puntear	6	1,21%		
Sistemas de fabricación flexible	12	1,43%		
Remachadoras	10	0,89%		

El resultado de la valoración del indicador para ambas tecnologías se presenta en la tabla 35.

**Tabla 35:** Resultado de la valoración de los casos de estudio para el indicador Potencial de extensión

POTENCIAL DE EXTENSIÓN	Tecnología	Laser Cladding	Micromecanizado
	Valoración	<p>La tecnología Laser Cladding se considera aplicable en siete tipos de máquinas, que totalizan 226 variantes de máquina.</p> <p>El criterio para esta selección se centra en focalizar en los tipos de máquina sobre los que se considera que la inclusión o combinación del Laser Cladding con el proceso propio de la máquina puede aportar valor añadido.</p>	<p>La tecnología Micromecanizado se considera aplicable en siete tipos de máquinas, que totalizan 178 variantes de máquina.</p> <p>Cabe destacar que, si bien inicialmente se centraba la apuesta en el microfresado y microtorneado, por extensión a los clientes cercanos y por afinidad tecnológica, la extensión al rectificado era potencialmente previsible y deseada.</p>
	Fuente de información	Clasificación de máquinas herramienta de AFM (AFM, s. f.)	Clasificación de máquinas herramienta de AFM (AFM, s. f.)
Resultado	0,452	0,356	

### **Indicador Patentabilidad**

La valoración de este indicador se obtiene del número de patentes que se detectan para la tecnología. Para ello se utiliza la base de datos espacenet (<https://es.espacenet.com/>), ya que es la más habitual, de acceso público y fácil uso para una búsqueda ágil y adecuada.

El número de patentes identificado se introduce en la función de valor en forma de “S” (figura 50) propuesta a tal efecto.

## 5. Resultados

El resultado de la valoración del indicador para ambas tecnologías se presenta en la tabla 36.

**Tabla 36:** Resultado de la valoración de los casos de estudio para el indicador Patentabilidad

PATENTABILIDAD	Tecnología	Laser Cladding	Micromecanizado
	Valoración	Se detectan 274 patentes en la búsqueda de los términos "Laser Cladding" y "Laser Metal Deposition".	Se detectan 38 patentes en la búsqueda de los términos "Micromachining" o "Micro milling" o "Micro turning".
	Fuente de información	base de datos espacenet ( <a href="https://es.espacenet.com/">https://es.espacenet.com/</a> )	base de datos espacenet ( <a href="https://es.espacenet.com/">https://es.espacenet.com/</a> )
	Resultado	1,000	1,000

### **Indicador Dimensión**

La dimensión de mercado está representada por una curva en "S" (figura 51). El parámetro a introducir es un número entre 100 y 0 que representa el tamaño del mercado. Teniendo en cuenta que esta investigación está enfocada hacia el sector del Manufacturing, a través de la Máquina-Herramienta, el valor se obtiene de calcular la dimensión (porcentaje) del sector de máquina herramienta en el que se pretende aplicar la tecnología, a partir de los datos proporcionados por AFM y recogidos en la tabla 34.

El resultado de la valoración del indicador para ambas tecnologías se presenta en la tabla 37.

**Tabla 37:** Resultado de la valoración de los casos de estudio para el indicador Dimensión

DIMENSIÓN	Tecnología	Laser Cladding	Micromecanizado
	Valoración	El mercado potencial del Laser Cladding abarca un 68% del mercado total de máquina herramienta, según las tipologías de máquinas aplicables y su cuota de mercado.	El mercado potencial del Micromecanizado abarca un 42 % del mercado total de máquina herramienta, según las tipologías de máquinas aplicables y su cuota de mercado.
	Fuente de información	Clasificación de máquinas herramienta de AFM (AFM, s. f.)	Clasificación de máquinas herramienta de AFM (AFM, s. f.)
	Resultado	0,908	0,509

### **Indicador Fragmentación**

Empleando la referencia de AFM en la que se presenta la clasificación del sector por tipos de máquinas junto con la distribución del volumen de negocio y los sectores de aplicación (tabla 25), y considerando cada uno de estos tipos de máquinas-herramienta se calcula el indicador a partir de los tipos de máquina en los que es aplicable la tecnología y los sectores de aplicación. En caso de que la tecnología pueda aplicarse en más de un sector, el resultado final del indicador será la suma del valor de cada uno de los sectores. Ese valor del porcentaje se introduce en la función de valor (figura 52) para obtener la valoración del indicador.

## 5. Resultados

El resultado de la valoración del indicador para ambas tecnologías se presenta en la tabla 38.

**Tabla 38:** Resultado de la valoración de los casos de estudio para el indicador Fragmentación

FRAGMENTACIÓN	Tecnología	Laser Cladding	Micromecanizado
	Valoración	El mercado potencial del Laser Cladding abarca un 42% del total del volumen sectorial, según las tipologías de máquinas aplicables y su cuota de mercado y sus sectores de aplicación.	El mercado potencial del Micromanufacturing abarca un 30% del total del volumen sectorial, según las tipologías de máquinas aplicables y su cuota de mercado y sus sectores de aplicación.
	Fuente de información	Clasificación de máquinas herramienta de AFM (AFM, s. f.)	Clasificación de máquinas herramienta de AFM (AFM, s. f.)
	Resultado	0,460	0,300

### **Indicador Competidores**

Este indicador se obtiene de la identificación del número de competidores y de su relevancia respecto a la tecnología en evaluación. Esta relevancia se mide a partir del tamaño de los competidores, de la evolución temporal de su actividad en la tecnología y de la intensidad de esta actividad. A partir de la valoración secuencial de estos factores: número de competidores, tamaño, e intensidad, se obtiene el valor entre 0 y 1.

El resultado de la valoración del indicador para ambas tecnologías se presenta en la tabla 39.

**Tabla 39:** Resultado de la valoración de los casos de estudio para el indicador Competidores

COMPETIDORES	Tecnología	Laser Cladding	Micromecanizado
	Valoración	A partir del informe Wohlers se ha obtenido el dato de que en 2009 había 32 fabricantes de equipos de Additive Manufacturing, siendo solo 3 de ellas empresas de máquina-herramienta y, por tanto, competidoras a efectos de esta valoración. Estas empresas son Trumpf, Mori Seiki y Mazak, encontrándose todas ellas entre las 10 más grandes del sector de Máquina-Herramienta.  Se analizan las tres empresas según el desplegable de la figura 53, siendo la intensidad de su actividad en Laser Cladding baja y la evolución de esa actividad creciente.	La información de los potenciales competidores de Máquina-Herramienta involucrados en micromecanizado se ha obtenido de los informes resumen de la Feria EMO de los años 2009 y 2007 elaborados por Invema y por el propio Ideko.  En ellos se identifican 12 fabricantes de microfresadoras y microtornos, entre ellos dos son grandes empresas, Mori Seiki y Makino.  Se analizan los datos de estas dos empresas según el desplegable de la figura 53, siendo la intensidad de su actividad en Micromecanizado baja y la evolución de esa actividad estable.
	Fuente de información	Wohlers Report 2009 (Wohlers, 2009)	Informes Feria EMI de Invema e Ideko, 2007 y 2009.
	Resultado	0,300	0,366

### **Indicador Capacitación Profesional (CT)**

Para valorar este indicador, el equipo de evaluación del centro tecnológico ha evaluado el porcentaje de plantilla investigadora que en 2009 tenía capacidades para abordar el desarrollo



## 5. Resultados

de la tecnología, a dos niveles: formación en la tecnología en evaluación y experiencia previa aplicable a la tecnología en evaluación.

El valor medio calculado según la tabla 27 se introduce en la función de valor (figura 54) de la que se obtiene la valoración final para el indicador.

El resultado de la valoración del indicador para ambas tecnologías se presenta en la tabla 40.

**Tabla 40:** Resultado de la valoración de los casos de estudio para el indicador Capacitación Profesional para el CT

CAPACITACIÓN PROFESIONAL	Tecnología	Laser Cladding	Micromecanizado
	Valoración	El equipo de evaluación ha valorado que un 8,5% de la plantilla investigadora estaba capacitada para el desarrollo de la tecnología, a través de sus conocimientos en tecnología laser, en control y monitorización del proceso y en diseño de máquinas.	El equipo de evaluación ha valorado que un 12,5% de la plantilla investigadora estaba capacitada para el desarrollo de la tecnología, a través de sus conocimientos en tecnología de proceso de corte, diseño de componentes de precisión y metrología de precisión.
	Fuente de información	Valoración por parte del equipo de evaluación de la tecnología	Valoración por parte del equipo de evaluación de la tecnología
	Resultado	0,510	0,786

### **Indicador Equipamiento (CT)**

Para valorar este indicador, el equipo de evaluación del centro tecnológico ha evaluado la situación del equipamiento científico disponible por el centro en 2009 en referencia a su adecuación para el desarrollo de las tecnologías evaluadas. Se han valorado, siguiendo la tabla 28, la disponibilidad de equipamiento directamente aplicable a la tecnología y la disponibilidad de equipamiento adaptable a la misma.

El resultado de la valoración del indicador para ambas tecnologías se presenta en la tabla 41.

**Tabla 41:** Resultado de la valoración de los casos de estudio para el indicador Equipamiento para el CT

EQUIPAMIENTO	Tecnología	Laser Cladding	Micromecanizado
	Valoración	No se disponía de equipamiento directamente utilizable para la tecnología, pero sí de equipos adaptables para abordarla (estructuras de máquina, fuente laser, bancos de ensayo)	No se disponía de equipamiento directamente utilizable para la tecnología, pero sí de equipos adaptables para abordarla (estructuras de máquina, fuente laser, bancos de ensayo)
	Fuente de información	Valoración por parte del equipo de evaluación de la tecnología	Valoración por parte del equipo de evaluación de la tecnología
	Resultado	0,600	0,600

### **Indicador Encaje con la Estrategia (CT)**

Para valorar este indicador, el equipo de evaluación del centro tecnológico ha evaluado el porcentaje de encaje con estrategia que presentaba la decisión de adoptar las tecnologías

## 5. Resultados

evaluadas en el momento de la decisión y ese porcentaje se introduce en la función de valor de la figura 55.

El resultado de la valoración del indicador para ambas tecnologías se presenta en la tabla 42.

**Tabla 42:** Resultado de la valoración de los casos de estudio para el indicador Encaje con la Estrategia para el CT

ENCAJE CON ESTRATEGIA	Tecnología	Laser Cladding	Micromecanizado
	Valoración	El encaje con la estrategia se considera total, ya que la apuesta por la tecnología Laser Cladding está explícitamente recogida en el Plan Estratégico y Plan de Investigación 2009-2013 del centro.	El encaje con la estrategia se considera en un 80%, ya que los planes del centro hacen referencia a la tecnología como tecnología a analizar y explorar.
	Fuente de información	Valoración por parte del equipo de evaluación de la tecnología	Valoración por parte del equipo de evaluación de la tecnología
	Resultado	1,000	0,919

### **Indicador Acceso al Mercado (CT)**

Para valorar este indicador, el equipo de evaluación del centro tecnológico ha analizado la relación y las experiencias previas del centro con empresas y clientes pertenecientes al nicho de mercado de la tecnología, según la figura 56. En el caso de Ideko, si se evalúa exclusivamente a los clientes directos, es decir, las empresas de Máquina-Herramienta que potencialmente comercializarán máquinas dedicadas a las tecnologías evaluadas, la valoración sería 1 para ambos casos (y para cualquier tecnología relacionada con la máquina herramienta). Por ello, se ha valorado en función de la relación, acceso y presencia en los sectores finalistas de la tecnología.

El resultado de la valoración del indicador para ambas tecnologías se presenta en la tabla 43.

**Tabla 43:** Resultado de la valoración de los casos de estudio para el indicador Acceso al Mercado para el CT

ACCESO AL MERCADO	Tecnología	Laser Cladding	Micromecanizado
	Valoración	Se ha valorado una situación de clientes fidelizados ya que se dispone de relaciones establecidas con empresas de los sectores objetivo: aero, energía, molde.	Se ha valorado una situación de actuaciones puntuales, ya que hay sectores clave de la tecnología micro (biomédico, microelectrónica, óptica) en los que la presencia tanto de Ideko como de sus clientes directos es muy limitada.
	Fuente de información	Valoración por parte del equipo de evaluación de la tecnología	Valoración por parte del equipo de evaluación de la tecnología
	Resultado	0,6	0,2

### **Indicador Costes (CT)**

Para valorar este indicador, el equipo de evaluación del centro tecnológico ha evaluado los tres bloques en los que se ha estructurado el análisis de costes: personal, equipamiento y desarrollo y, siguiendo el mecanismo marcado en la figura 57 se ha obtenido el índice para

## 5. Resultados

cada tecnología.

El resultado de la valoración del indicador para ambas tecnologías se presenta en la tabla 44.

**Tabla 44:** Resultado de la valoración de los casos de estudio para el indicador Costes para el CT

COSTES	Tecnología	Laser Cladding	Micromecanizado
	Valoración	Se han considerado bajos los costes de personal (incorporación y/o formación), medio-alto los costes de equipamiento y medio-bajo los costes de desarrollo.	Se han considerado bajos los costes de personal (incorporación y/o formación), medio-bajo los costes de equipamiento y medio-alto los costes de desarrollo.
	Fuente de información	Valoración por parte del equipo de evaluación de la tecnología	Valoración por parte del equipo de evaluación de la tecnología
	Resultado	0,700	0,500

### **Indicador Timing (CT)**

La valoración de este indicador se ha llevado a cabo comparando el TRL de la tecnología (previamente evaluado en el indicador TRL-ciclo de desarrollo), y el TRL en que se encuentra la tecnología en el centro tecnológico en el momento de la toma de decisión.

El resultado de la valoración del indicador para ambas tecnologías se presenta en la tabla 45.

**Tabla 45:** Resultado de la valoración de los casos de estudio para el indicador Timing para el CT

TIMING	Tecnología	Laser Cladding	Micromecanizado
	Valoración	Se aplica la figura 59, porque como se ha indicado en la valoración del indicador TRL - ciclo de desarrollo, la tecnología no tiene aplicaciones industriales relevantes. La tecnología, como se ha indicado en la valoración del indicador TRL - ciclo de desarrollo, se encuentra en un TRL4, mientras que Ideko comenzaría en un TRL2-3.	Se aplica la figura 58, porque como se ha indicado en la valoración del indicador TRL - ciclo de desarrollo, la tecnología tiene ya cierto desarrollo industrial. La tecnología, como se ha indicado en la valoración del indicador TRL - ciclo de desarrollo, se encuentra en un TRL7, mientras que Ideko comenzaría en un TRL2-3.
	Fuente de información	Valoración por parte del equipo de evaluación de la tecnología	Valoración por parte del equipo de evaluación de la tecnología
	Resultado	0,700	0,300

### **Indicador Capacitación Profesional (clientes)**

Para valorar este indicador, se ha evaluado, de manera estimativa, con el conocimiento que el centro tiene de sus clientes, el nivel de formación y el nivel de experiencia de los clientes en las tecnologías, según la figura 60. Ambos factores se valoran en una escala de cuatro niveles.

## 5. Resultados

El resultado de la valoración del indicador para ambas tecnologías se presenta en la tabla 46.

**Tabla 46:** Resultado de la valoración de los casos de estudio para el indicador Capacitación Profesional para los clientes del CT

CAPACITACIÓN PROFESIONAL	Tecnología	Laser Cladding	Micromecanizado
	Valoración	El equipo de evaluación ha estimado que los clientes tienen personal técnico con cierto nivel de formación y experiencia en algunas de las tecnologías aplicables al Laser Cladding, por lo que el inicio de desarrollo e industrialización de la tecnología se prevé factible con el equipo disponible.	El equipo de evaluación ha estimado que los clientes tienen personal técnico con cierto nivel de formación y experiencia en algunas de las tecnologías aplicables al Microfabricación, en particular en aspectos relacionados con los conceptos de precisión de máquina, por lo que el inicio de desarrollo e industrialización de la tecnología se prevé factible con el equipo disponible.
	Fuente de información	Valoración por parte del equipo de evaluación de la tecnología	Valoración por parte del equipo de evaluación de la tecnología
	Resultado	0,400	0,640

### **Indicador Equipamiento (clientes)**

De manera análoga al indicador anterior, capacitación profesional, la valoración del equipamiento se realiza de manera estimativa. Se valora, según se presenta en la figura 61, la disponibilidad de equipamiento compatible y disponibilidad de equipamiento adaptable a las tecnologías evaluadas. La valoración se hace en cuatro niveles, y posteriormente se pondera (70-30) y se obtiene el valor final.

El resultado de la valoración del indicador para ambas tecnologías se presenta en la tabla 47.

**Tabla 47:** Resultado de la valoración de los casos de estudio para el indicador Equipamiento para los clientes del CT

EQUIPAMIENTO	Tecnología	Laser Cladding	Micromecanizado
	Valoración	Las empresas cliente disponen, en general, del equipamiento necesario para producir, testear y validar los productos que incorporen la nueva tecnología.	Los requisitos de ultraprecisión para la producción de máquinas de Micromecanizado no están suficientemente cubiertos por los sistemas productivos actuales, que requerirán de nuevas inversiones y/o adaptaciones de equipos existentes.
	Fuente de información	Valoración por parte del equipo de evaluación de la tecnología	Valoración por parte del equipo de evaluación de la tecnología
	Resultado	0,79	0,51

### **Indicador Encaje con la Estrategia (clientes)**

Para valorar este indicador, se utiliza la curva en “S” similar a la utilizada para el centro tecnológico (figura 62). El equipo de análisis ha podido valorar este indicador porque dispone de acceso e interlocución con sus principales clientes para conocer sus estrategias fundamentales.

## 5. Resultados

El resultado de la valoración del indicador para ambas tecnologías se presenta en la tabla 48.

**Tabla 48:** Resultado de la valoración de los casos de estudio para el indicador Encaje con la Estrategia para los clientes del CT

ENCAJE CON ESTRATEGIA	Tecnología	Laser Cladding	Micromecanizado
	Valoración	El encaje con la estrategia se considera total, ya que la apuesta por la tecnología Laser Cladding está explícitamente recogida en el los planes de diversificación de los clientes.	El encaje con la estrategia se considera en un 65%, ya que los clientes observan el aspecto positivo de la diversificación a sectores en auge (bio, microelectrónica) pero con una elevada precaución por los requisitos tecnológicos y el desconocimiento del mercado.
	Fuente de información	Valoración por parte del equipo de evaluación de la tecnología	Valoración por parte del equipo de evaluación de la tecnología
	Resultado	1,000	0,375

### **Indicador Costes (clientes)**

Para valorar este indicador, el equipo de evaluación del centro tecnológico ha evaluado los tres bloques en los que se ha estructurado el análisis de costes: personal, equipamiento e industrialización y, siguiendo el mecanismo marcado en la figura 63, se ha obtenido el índice para cada tecnología.

El resultado de la valoración del indicador para ambas tecnologías se presenta en la tabla 49.

**Tabla 49:** Resultado de la valoración de los casos de estudio para el indicador Costes para los clientes del CT

COSTES	Tecnología	Laser Cladding	Micromecanizado
	Valoración	Se han considerado bajos los costes de personal (incorporación y/o formación), medio-bajo los costes de equipamiento y bajo los costes de industrialización.	Se han considerado medio-bajo los costes de personal (incorporación y/o formación), medio-alto los costes de equipamiento y medio-alto los costes de industrialización.
	Fuente de información	Valoración por parte del equipo de evaluación de la tecnología	Valoración por parte del equipo de evaluación de la tecnología
	Resultado	0,886	0,528

### **Indicador Timing (clientes)**

La valoración del timing se plantea a través de tres factores que son el tiempo de desarrollo (incluye la transferencia), el tiempo de industrialización y el tiempo de comercialización. El tiempo de desarrollo puede asociarse a la fase de evolución del TRL4-5 en que se realiza la transferencia hasta el TRL6-7, y el tiempo de industrialización correspondería a la fase hasta alcanzar el TRL8. La fase de comercialización e implantación en el mercado es la que lleva a la empresa a alcanzar el TRL9 de la tecnología. Estos tres factores se valoran tal como se indica en la figura 64.

## 5. Resultados

El resultado de la valoración del indicador para ambas tecnologías se presenta en la tabla 50.

**Tabla 50:** Resultado de la valoración de los casos de estudio para el indicador Timing para los clientes del CT

TIMING	Tecnología	Laser Cladding	Micromecanizado
	Valoración	Se han considerado medio-alto el coste de desarrollo, medio-bajo el coste de industrialización, y medio-bajo el coste de comercialización.	Se han considerado alto el coste de desarrollo, medio-alto el coste de industrialización, y medio-alto el coste de comercialización.
	Fuente de información	Valoración por parte del equipo de evaluación de la tecnología	Valoración por parte del equipo de evaluación de la tecnología
	Resultado	0,604	0,228

### **Resultado global**

A partir de los valores obtenidos para los indicadores, el modelo calcula sucesivamente los valores de los criterios, los requerimientos y, finalmente, el índice global, Índice de Adopción de la Tecnología. El resultado se muestra en la tabla 51.

**Tabla 51:** Índice de Adopción de la Tecnología para los dos casos de estudio

	Laser Cladding	Micromecanizado
Índice de Adopción de la Tecnología	0,698	0,428

### **5.4.1.3 Perspectiva temporal de la evolución de los casos de estudio**

Como se ha indicado anteriormente, la perspectiva temporal ofrece una referencia sobre la evolución de las tecnologías evaluadas en el período que va desde el momento en el que Ideko decidió apostar por ambas tecnologías, decisión que se ha simulado en los casos de estudio de esta investigación.

La perspectiva temporal no se plantea como una validación del modelo, porque el modelo MIVES no se formula como una proyección de futuro, y determinados indicadores pueden sufrir variaciones en su comportamiento a lo largo del tiempo, como es el caso de la evolución de la propia tecnología, el mercado o los competidores. Incluso factores del propio centro o sus clientes como sus apuestas estratégicas evolucionan en el tiempo. Sin embargo, la evolución en el tiempo de algunos indicadores guarda cierta relación con su situación en el momento de la toma de decisión y puede trazarse una línea de relación entre los datos disponibles y también las valoraciones realizadas por el equipo de análisis y la evolución posterior, por lo que se considera que este análisis proporciona una información complementaria valorable para la validación del modelo.

### **Caso de estudio Laser Cladding**

El desarrollo de la tecnología por parte de Ideko se orientó hacia el desarrollo del proceso de Laser Cladding con tres campos de aplicación objetivo:

## 5. Resultados

- La reparación de piezas de valor, de manera autónoma, es decir, el desarrollo de máquinas para ejecutar la reparación de piezas, o bien, integrando el proceso en máquinas-herramienta multitarea, configurando una solución combinada o híbrida de mecanizado más aporte.
- La fabricación mixta de piezas, combinando el mecanizado y el aporte, en piezas que, por aspectos geométricos o de material (combinación de varios materiales) se muestren favorables a esta solución híbrida.
- La aplicación de recubrimientos especiales sobre piezas metálicas para dotarlas de una funcionalidad superficial.

En todas estas aplicaciones el cliente prioritario es el fabricante de máquinas, como industrializador y comercializador de las soluciones de máquina, individuales e híbridas. En un segundo nivel, también el foco comercial, se sitúan empresas usuarias directas de la tecnología, esto es, fabricantes y mecanizadores a los que la tecnología pueda suponerles una ventaja productiva.

Como se ha presentado en el análisis, el desarrollo dio comienzo con el equipo investigador de Ideko y algunas inversiones necesarias para el desarrollo del proceso, dentro de los parámetros de inversión habituales del centro. El esfuerzo del centro se focalizó, por tanto, en el desarrollo de la tecnología.

Las fuentes de financiación pública acompañaron la apuesta, como era esperable al tratarse de una tecnología en auge a nivel internacional y potenciada por las administraciones públicas.

El hito más destacable del desarrollo fue el establecimiento de una línea de industrialización de la tecnología con una de las empresas fabricantes de máquina-herramienta, cliente estratégico de Ideko, para el desarrollo de soluciones completamente automatizadas para la reparación de álabes del compresor del motor de avión. Este producto ha supuesto una línea de negocio intermitente para la empresa, con una facturación contenida, pero que sigue en curso, con resultados positivos en los últimos años y en el año en curso.

Otras actuaciones industriales han tenido un carácter más puntual, con soluciones puntuales de menor impacto comercial.

Desde el punto de vista científico-técnico, los resultados para el centro son positivos, en la producción científica, el acceso a financiación pública, la capacitación del equipo y las colaboraciones internacionales.

En el ámbito industrial, el rendimiento es más limitado. Si bien, tal como se ha indicado, se ha generado una línea de negocio que continúa activa, pero con un impacto económico limitado. Esta situación es un reflejo de la tecnología y el sector, que está mostrando una evolución más lenta que la prevista hace una década. Como indicador, las aplicaciones de los grandes competidores analizados en el modelo de evaluación tampoco han experimentado un crecimiento significativo, sino que siguen una evolución más contenida.

## 5. Resultados

---

Si analizamos esta evolución con el valor de 0,7 sobre la escala de 0 a 1, obtenido en el modelo para el Indicador de Adopción de la Tecnología, puede entenderse que quizá esta valoración es ligeramente alta frente a la perspectiva de la evolución posterior. Si analizamos las valoraciones del modelo, son los factores propios de la tecnología, en particular los relacionados con el mercado, los que no han evolucionado en la línea prevista, mientras que los factores relacionados con el centro y la empresa puede considerarse acorde con la evolución posterior.

### ***Caso de estudio Micromecanizado***

En el escenario de potenciación de la miniaturización y las microtecnologías que se desarrolló en la década del 2000, con la perspectiva de nuevos sectores punteros como la microelectrónica y la biotecnología, Ideko decidió hacer una apuesta por el micromecanizado, más concretamente el desarrollo del conocimiento en diseño de máquinas y procesos que pudiera permitir a sus clientes, desarrollar y comercializar máquinas para el microfresado y microtorneado. La decisión estaba soportada en factores tecnológicos, de perspectiva de mercado y negocio y de acceso a financiación pública, tal como se ha descrito en el apartado 5.4.1.1. La valoración que se realizó en su momento para adoptar la decisión, contó con aspectos positivos y negativos:

- Entre los positivos se contaba con el conocimiento disponible en el centro en tecnología de precisión, en particular relacionado con el diseño de componentes y la perspectiva de poder trasladar el conocimiento en procesos convencionales hacia el mundo micro. También el atractivo de buscar nichos de mercado en los que poder introducir nuevas líneas de producto (tornos y fresadoras para el micromecanizado) de algunos de los clientes prioritarios del centro, permitiéndoles acceder a nuevos mercados.
- Entre los negativos, se vislumbraban algunas dudas respecto a las capacidades técnicas y productivas para alcanzar las precisiones y calidades requeridas por la tecnología de ultraprecisión y, especialmente, la incertidumbre acerca de las perspectivas de evolución del mercado y, especialmente, la falta de conocimiento y experiencia en los mercados que se presentaban tractors de la tecnología.

El mercado presentaba, por tanto, la doble vertiente del reto del crecimiento sobre nuevos mercados y la incertidumbre de la consolidación de estos mercados y de las capacidades de acceso a los mismos.

El desarrollo del centro se materializó en prototipos de máquina para las dos tecnologías y en múltiples contactos con empresas interesadas en la tecnología, cristalizados en pruebas para verificar la adecuación de las máquinas y desarrollar los procesos, en muchos casos aún en desarrollo en los propios clientes.

Las fuentes de financiación pública acompañaron la apuesta, como era esperable al tratarse de una tecnología en auge a nivel internacional y potenciada por las administraciones públicas.



## 5. Resultados

---

Desde el punto de vista científico-técnico, los resultados para el centro fueron positivos, en la producción científica, el acceso a financiación pública y la capacitación del equipo, adquiriendo conocimientos y experiencia que se ha podido aplicar en el desarrollo de las tecnologías de precisión en máquinas convencionales.

Sin embargo, tras un período en torno a los seis años de inversión en I+D no materializado en el mercado y, más específicamente, una perspectiva futura en la que no se visualizaba un cambio de tendencia, el centro, apoyado en análisis detallados del mercado a cargo de consultoras especializadas, el centro decidió abandonar la actividad en Micromecanizado y Ultraprecisión, manteniendo la especialización en tecnologías de precisión, trasladando la experiencia adquirida a las máquinas convencionales de mayor precisión, como son las rectificadoras y tornos de precisión.

Cabe destacar que, si bien la valoración realizada con el modelo MIVES apunta algunos de los aspectos negativos indicados en este análisis, como el acceso al mercado, la capacidad productiva o el timing por parte de la empresa, la evolución en el tiempo ha sido más negativa que la previsible en el año 2009. El mayor desfase se ha producido en el mercado potencial de la tecnología, ya que los sectores objetivo han optado por tecnologías alternativas al micromecanizado, perdiendo éste el posicionamiento previsto. Este aspecto se visualiza también en la claramente decreciente intensidad de la apuesta de los competidores por la tecnología.

### 5.4.2 Análisis de sensibilidad

Como se ha descrito anteriormente, el análisis de sensibilidad es una fase opcional propuesta por el método MIVES, que se utiliza para verificar la solidez y estabilidad del modelo, buscando identificar excesivas fluctuaciones del resultado frente a cambios de pequeña magnitud en pesos o valoraciones.

El valor final del índice global calculado (Índice de Adopción de la Tecnología) está directamente relacionado con los pesos asignados a los requerimientos, criterios e indicadores. Estos pesos son el resultado de la evaluación subjetiva llevada a cabo por los miembros del panel de expertos, con una primera verificación de consistencia que el propio método AHP proporciona para la comparación por pares, a través del Ratio de Consistencia (C.R.) calculado conjuntamente con la matriz de comparación y el cálculo del vector de pesos.

El análisis de sensibilidad se recomienda con el objetivo de verificar que ligeros cambios en los correspondientes pesos relativos no provoquen cambios significativos en el indicador global (Índice de Adopción de la Tecnología en este caso) de la evaluación (Chang et al., 2007; Emrouznejad y Marra, 2017). Este análisis de sensibilidad puede extenderse a todos los niveles jerárquicos (requerimientos, criterios e indicadores) pero, habitualmente se aplica sólo a los requerimientos, ya que por su posición en el esquema jerárquico presentan la mayor influencia sobre el resultado del indicador global (Veisi et al., 2016; Viñolas et al., 2009).

En esta investigación se ha seleccionado como método para el análisis de sensibilidad el

## 5. Resultados

denominado *One at a Time Sensitivity Analysis* ya que es uno de los más habitualmente utilizados en trabajos basados en análisis AHP (Barba-Romero, 1996; Chen y Kocaoglu, 2008). Entre sus virtudes pueden destacarse que es un enfoque simple, requiere de pocos recursos de computación y los resultados obtenidos son fáciles de interpretar (Chen et al., 2013).

Si los resultados son muy sensibles a pequeños cambios en los pesos relativos de los requerimientos, se recomienda una revisión de los pesos asignados. Para ello, los pesos de los requerimientos se han modificado de forma independiente (*One at a Time*), con cambios de  $\pm 30\%$ ,  $\pm 50\%$  y  $\pm 80\%$ , respectivamente, a través de la definición de 6 nuevos escenarios para cada cambio, como se puede ver en la tabla 52. Una vez alterado el peso del correspondiente requerimiento, el resto de pesos de los restantes requerimientos deben ser modificados proporcionalmente, de tal forma que la suma total de los pesos sea siempre el 100%. De esta forma, se han calculado los nuevos valores del Índice de Adopción de la Tecnología (IAT) para los dos casos de estudio y a través de los 6 nuevos escenarios, como se puede ver en la tabla 53 y los porcentajes de variación del Índice de Adopción de la Tecnología (IAT), que se muestran en la tabla 54.

**Tabla 52:** Escenarios del análisis de sensibilidad

CASO DE ESTUDIO 1: LASER CLADDING  Valor original: 0,698	REQ1 +30%	REQ1 +50%	REQ1 +80%	REQ1 -30%	REQ1 -50%	REQ1 -80%
	REQ2 +30%	REQ2 +50%	REQ2 +80%	REQ2 -30%	REQ2 -50%	REQ2- 80%
	REQ3 +30%	REQ3 +50%	REQ3 +80%	REQ3 -30%	REQ3 -50%	REQ3 -80%
CASO DE ESTUDIO 2: MICROMECHANIZADO  Valor original: 0,428	REQ1 +30%	REQ1 +50%	REQ1 +80%	REQ1 -30%	REQ1 -50%	REQ1 -80%
	REQ2 +30%	REQ2 +50%	REQ2 +80%	REQ2 -30%	REQ2 -50%	REQ2- 80%
	REQ3 +30%	REQ3 +50%	REQ3 +80%	REQ3 -30%	REQ3 -50%	REQ3 -80%

### 5.4.2.1 Resultados del análisis de sensibilidad

A continuación se recogen los resultados obtenidos de las simulaciones con los escenarios planteados en la tabla 52. Para cada simulación se presenta tanto el valor del índice de Adopción de la Tecnología (IAT) obtenido como el porcentaje de variación respecto al original obtenido de la resolución del modelo.

**Tabla 53:** Valores calculados para el Índice de Adopción de la Tecnología (IAT) en los nuevos escenarios

CASO DE ESTUDIO 1: LASER CLADDING  Valor original: 0,698	REQ1 +30%	REQ1 +50%	REQ1 +80%	REQ1 -30%	REQ1 -50%	REQ1 -80%
	0,684	0,676	0,662	0,711	0,720	0,733
	REQ2 +30%	REQ2 +50%	REQ2 +80%	REQ2 -30%	REQ2 -50%	REQ2- 80%
	0,699	0,700	0,701	0,697	0,696	0,695

## 5. Resultados

	REQ3 +30%	REQ3 +50%	REQ3 +80%	REQ3 -30%	REQ3 -50%	REQ3 -80%
	0,722	0,739	0,763	0,673	0,657	0,633
CASO DE ESTUDIO 2: MICROMECHANIZADO  Valor original: 0,428	REQ1 +30%	REQ1 +50%	REQ1 +80%	REQ1 -30%	REQ1 -50%	REQ1 -80%
	0,424	0,421	0,417	0,433	0,436	0,440
	REQ2 +30%	REQ2 +50%	REQ2 +80%	REQ2 -30%	REQ2 -50%	REQ2- 80%
	0,434	0,438	0,444	0,423	0,419	0,413
	REQ3 +30%	REQ3 +50%	REQ3 +80%	REQ3 -30%	REQ3 -50%	REQ3 -80%
	0,423	0,419	0,413	0,434	0,438	0,443

**Tabla 54:** Porcentajes de variación del Índice de Adopción de la Tecnología (IAT) en los nuevos escenarios

CASO DE ESTUDIO 1: LASER CLADDING  Valor original: 0,698	REQ1 +30%	REQ1 +50%	REQ1 +80%	REQ1 -30%	REQ1 -50%	REQ1 -80%
	1,9%	3,2%	5,1%	-1,9%	-3,2%	-5,1%
	REQ2 +30%	REQ2 +50%	REQ2 +80%	REQ2 -30%	REQ2 -50%	REQ2- 80%
	-0,2%	-0,3%	-0,4%	0,2%	0,3%	0,4%
	REQ3 +30%	REQ3 +50%	REQ3 +80%	REQ3 -30%	REQ3 -50%	REQ3 -80%
	-3,5%	-5,8%	-9,3%	3,5%	5,8%	9,3%
CASO DE ESTUDIO 2: MICROMECHANIZADO  Valor original: 0,428	REQ1 +30%	REQ1 +50%	REQ1 +80%	REQ1 -30%	REQ1 -50%	REQ1 -80%
	1,0%	1,7%	2,7%	-1,0%	-1,7%	-2,7%
	REQ2 +30%	REQ2 +50%	REQ2 +80%	REQ2 -30%	REQ2 -50%	REQ2- 80%
	-1,4%	-2,3%	-3,6%	1,4%	2,3%	3,6%
	REQ3 +30%	REQ3 +50%	REQ3 +80%	REQ3 -30%	REQ3 -50%	REQ3 -80%
	1,3%	2,2%	3,5%	-1,3%	-2,2%	-3,5%

Cuando los resultados de la evaluación son muy similares aun habiendo modificado de forma significativa los pesos de las dimensiones, se puede concluir que el modelo de evaluación es correcto (Barba-Romero, 1996; Chen et al., 2013). En el caso del presente estudio, la máxima variación que ha sufrido el Índice de Innovación ha sido del 9,3%, lo cual se puede considerar que es una pequeña variación, teniendo en cuenta que ha sido consecuencia de una variación extrema del peso de las dimensiones, concretamente de un 80%.

Por tanto, puede concluirse que el análisis de sensibilidad proporciona un resultado favorable a la estabilidad y solides del modelo configurado.

### 5.4.3 Conclusiones de la fase de validación

La fase de validación del modelo se ha desarrollado completando las siguientes actividades:

1. La aplicación del modelo MIVES desarrollado a dos casos de estudio. Esta es la actividad final de la aplicación de un modelo MIVES: la definición de las alternativas a evaluar (los casos de estudio) y su valoración.

La valoración de las alternativas se lleva a cabo de forma independiente, por lo que MIVES permite valorar también una única alternativa. Este es un aspecto interesante para el objeto final de esta investigación, la aplicación de la metodología a la valoración de una única tecnología sobre la que se quiera llevar a cabo la toma de decisión.

El resultado final de la valoración es la obtención de un índice global, con un valor entre 0 y 1, y que en este modelo se ha denominado “Índice de Adopción de la Tecnología” (IAT). En una valoración excluyente entre alternativas, este índice permite hacer un ranking entre ellas, en el caso de la valoración de una única, el índice no proporciona una información definitiva, ya que no parece viable asignar un valor umbral a partir del cual la decisión de adopción puede ser favorable o por debajo del cuál se desaconseja una decisión positiva de adopción de la tecnología. La decisión, en este caso, requiere de un mayor análisis de los indicadores valorados, contrastando los resultados con la posición y la visión del equipo decisor.

2. Una vez completado el proceso de valoración se ha llevado a cabo el análisis sensibilidad, actividad recomendada como opcional en la propia metodología MIVES, de la misma forma que se lleva a cabo de manera habitual en la aplicación de AHP, método incluido en MIVES. El método utilizado para realizar esta actividad ha sido el denominado *One at a Time*, en el que en cada simulación se varía un único factor (requerimiento en este caso).

El análisis de sensibilidad practicado para ambos casos de estudio, configurando seis escenarios de variación, con modificaciones de los pesos de los requerimientos del 30, 50 y 80% (positivos y negativos) ha proporcionado una máxima variación del 9%, para un caso de variación del 80%, por lo que el resultado es positivo, validando la estabilidad del modelo.

3. El análisis de la perspectiva temporal sobre la evolución de la decisión tomada sobre las tecnologías evaluadas y el proceso de evaluación completado en esta investigación. Si bien este análisis no es un factor de validación del modelo, sí que ha resultado de valor ya que ha permitido trazar paralelismos con las valoraciones y decisiones tomadas en la ejecución del modelo con la evolución de las tecnologías incluidas como casos de estudio, relacionando valores asignados a los distintos indicadores con las situaciones reales ocurridas desde el momento en que se tomó la decisión sobre las tecnologías.

## 5.5 Resultados del testeo de las hipótesis

Las hipótesis de investigación asociados a los objetivos definidos se resumen en la tabla 55, tal como se han formulado previamente en el capítulo 3 de esta memoria.

**Tabla 55:** Objetivos de investigación e hipótesis asociadas

Objetivo	Hipótesis asociadas
Objetivo 1: Identificar y seleccionar los factores clave de la tecnología a estudiar.	Hipótesis 1_1: Una tecnología en un estado de madurez bajo-medio y una relevancia alta presenta el mayor potencial de impacto para un centro tecnológico
	Hipótesis 1_2: Una tecnología con nichos de mercado especializados presenta un mayor potencial de impacto en el centro tecnológico y sus clientes
	Hipótesis 1_3: El protagonismo de empresas competidoras de relevancia limita el potencial de impacto de una tecnología en los clientes
Objetivo 2: Identificar y seleccionar los factores que permiten caracterizar y verificar el impacto de la tecnología	Hipótesis 2_1: El crecimiento empresarial basado en una tecnología tiene una influencia positiva en el impacto en el centro tecnológico, en sostenibilidad, crecimiento y posicionamiento
	Hipótesis 2_2: Costes y tiempos de desarrollo elevados en el desarrollo global (centro tecnológico + clientes) reducen la oportunidad de un impacto positivo en centro y clientes
Objetivo 3: Identificar y seleccionar los factores que permiten evaluar la adecuación de la tecnología al escenario de aplicación.	Hipótesis 3_1: La adecuación de la capacitación, equipamiento y estrategia del centro tecnológico y los clientes facilitan la adopción de una nueva tecnología y la consecución del impacto esperable en el centro y sus clientes
	Hipótesis 3_2: El conocimiento y mecanismos de acceso al mercado por parte del centro tecnológico proporcionan una mayor viabilidad a la adopción de la tecnología (costes y tiempo de desarrollo)
	Hipótesis 3_3: En el caso de una tecnología con factores propios favorables, y factores internos de los clientes favorables, aunque la capacitación y el equipamiento del centro tecnológico no sean los más adecuados, el encaje de la tecnología con la estrategia del centro convierte esa limitación en una oportunidad, permitiendo abrir nuevas líneas de desarrollo y capacitación, y con ello generar un crecimiento
Objetivo 4: Definir y desarrollar un modelo que permitan analizar y objetivar las relaciones entre estos diferentes factores para poder cuantificar el valor de la tecnología en función de esas áreas seleccionadas	Hipótesis 4_1: el método MIVES se muestra adecuado para construir un modelo para la valoración, comparación y selección de tecnologías y también para la decisión sobre una única tecnología.
Objetivo 5: Evaluar, verificar y ajustar el comportamiento del modelo a través de su aplicación sobre casos reales	Hipótesis 5_1: La aplicación del modelo a desarrollar en la simulación de casos reales conocidos permite evaluar con suficiente fiabilidad la validez del modelo

A continuación se va a proceder a revisar las hipótesis y analizar la adecuación de su formulación con los resultados de la investigación. Para ello, se ha planteado trasladar al modelo las aseveraciones indicadas por cada una de las hipótesis, modificando los valores de

## 5. Resultados

los indicadores, criterios o requerimientos involucrados, en el sentido marcado por la hipótesis.

**Hipótesis 1\_1: Una tecnología en un estado de madurez bajo-medio y una relevancia alta presenta el mayor potencial de impacto para un centro tecnológico.**

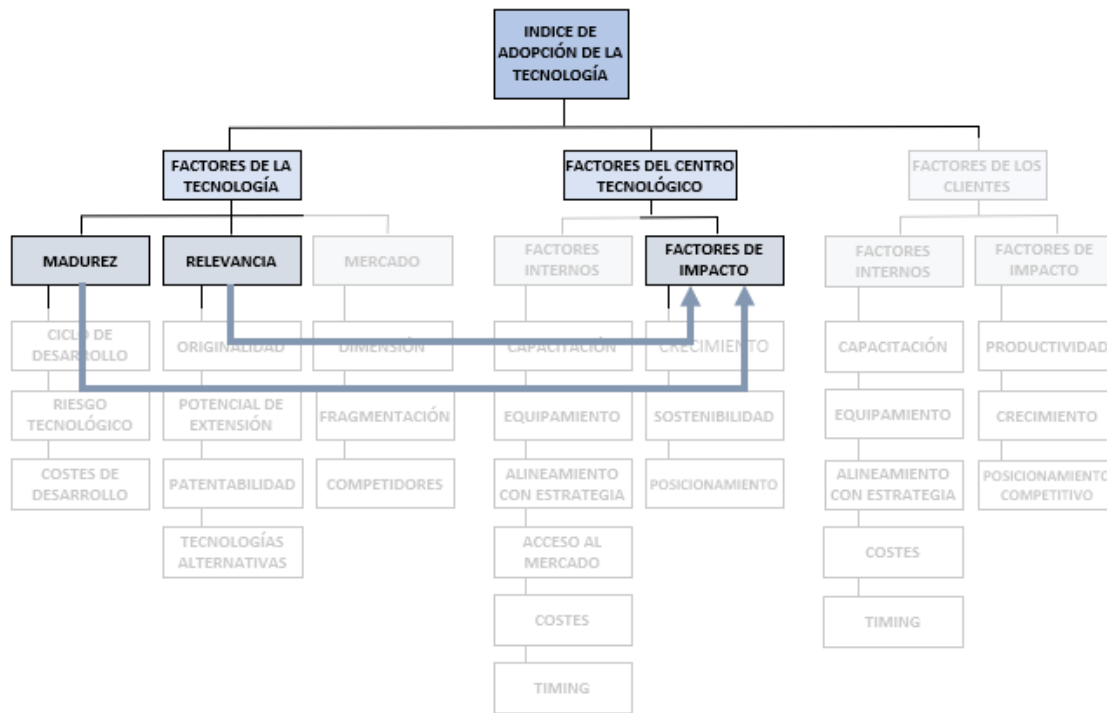


Figura 67: Hipótesis 1\_1

Si se modifica el indicador “TRL-ciclo de desarrollo” a un TRL1 que representa el estado más embrionario de la tecnología y se le otorga un valor 1, por tanto el estado de madurez más bajo, y el criterio “relevancia” a su máximo (valor 1), para ambos casos de estudio, el resultado es el máximo entre las posibles combinaciones de ambos factores, tal como se ve en la tabla 56: En esta tabla, se compara la hipótesis con los dos supuestos alternativos en que ambos indicadores reciben valor mínimo alternativamente, esto es: TRL alto - relevancia alta y TRL alto – relevancia baja. Como se ve en la tabla, la hipótesis (columna 3) proporciona el resultado más alto.

Tabla 56: Valoración de la hipótesis 1\_1

Caso de estudio	Valor original modelo	Valoración según hipótesis 1_1	Alternativa 1: TRL alto – relevancia alta	Alternativa 2: TRL alto, relevancia baja
Laser Caldding	0,698	0,708	0,661	0,643
Micromecanizado	0,428	0,463	0,416	0,398

Con estos resultados, la hipótesis 1\_1 se considera aprobada.

**Hipótesis 1\_2:** Una tecnología con nichos de mercado especializados presenta un mayor potencial de impacto en el centro tecnológico y sus clientes.

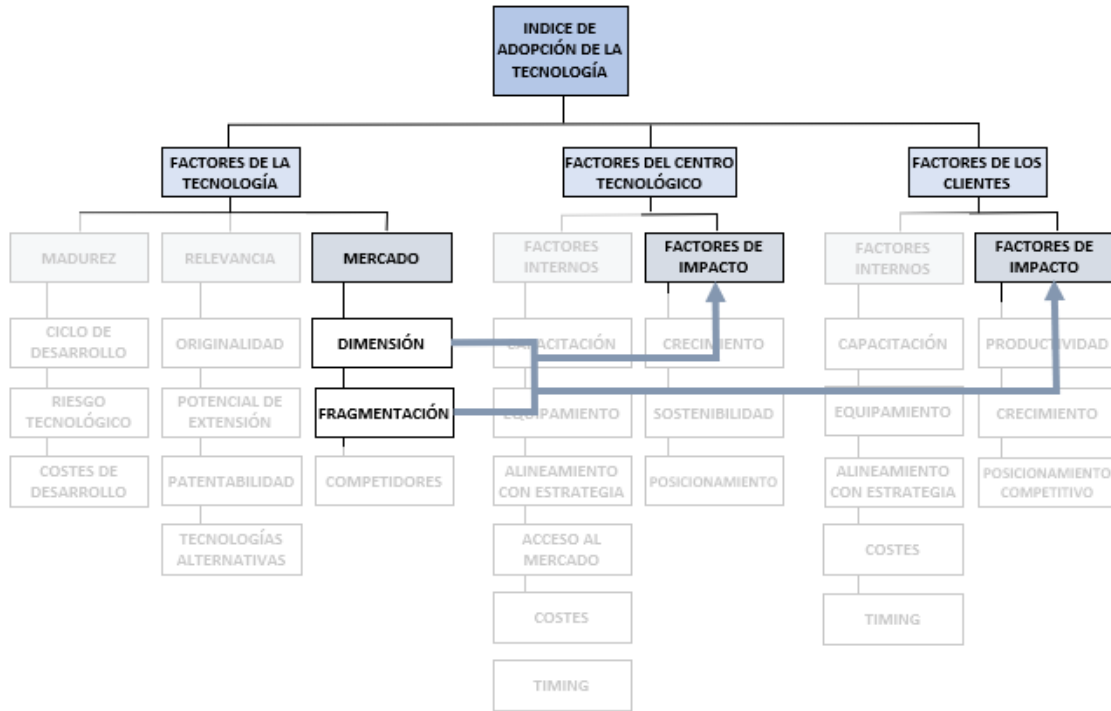


Figura 68: Hipótesis 1\_2

Esta hipótesis se representa en el modelo por el indicador “fragmentación”. Como se ha descrito en el apartado 5.3.2.1 “Descripción y comportamiento de los indicadores”, el indicador “fragmentación” valora los tipos de máquinas herramienta a los que es aplicable cada una de las tecnologías y los sectores (nichos) a los que se orientan esas máquinas. Una tecnología con nichos de mercado en sectores clave de los clientes recibirá una valoración más alta en el indicador “fragmentación”, con lo que el “Índice de Adopción de la Tecnología” también obtendrá un valor superior, por lo que el impacto en el centro tecnológico y sus clientes será superior.

De esta manera, la hipótesis 1\_2 se considera aprobada.

**Hipótesis 1\_3:** El protagonismo de empresas competidoras de relevancia limita el potencial de impacto de una tecnología en los clientes.

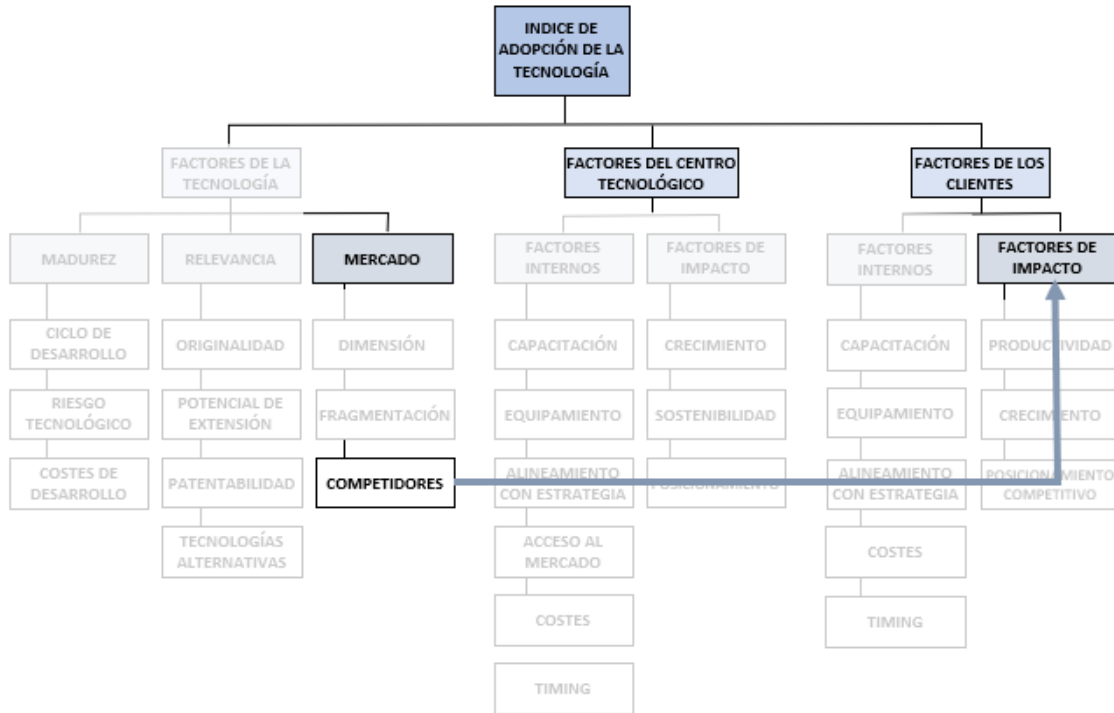


Figura 69: Hipótesis 1\_3

Esta hipótesis está directamente relacionada con el indicador “competidores”. En la formulación del indicador y su método de valoración, presentados en el apartado 5.3.2.1, se puede ver que la existencia de competidores de gran tamaño y relevancia involucrados en las tecnologías evaluadas redundaría en una peor valoración del indicador, llegando a una valoración 0 en caso de detectarse la presencia de más de tres competidores de relevancia. A consecuencia de esta valoración negativa, reciben una valoración inferior tanto el criterio de factores de los clientes como el “Índice de Adopción de la Tecnología”.

De esta manera, la hipótesis 1\_3 se considera aprobada.



## 5. Resultados

**Hipótesis 2\_1:** El crecimiento empresarial basado en una tecnología tiene una influencia positiva en el impacto en el centro tecnológico, en sostenibilidad, crecimiento y posicionamiento

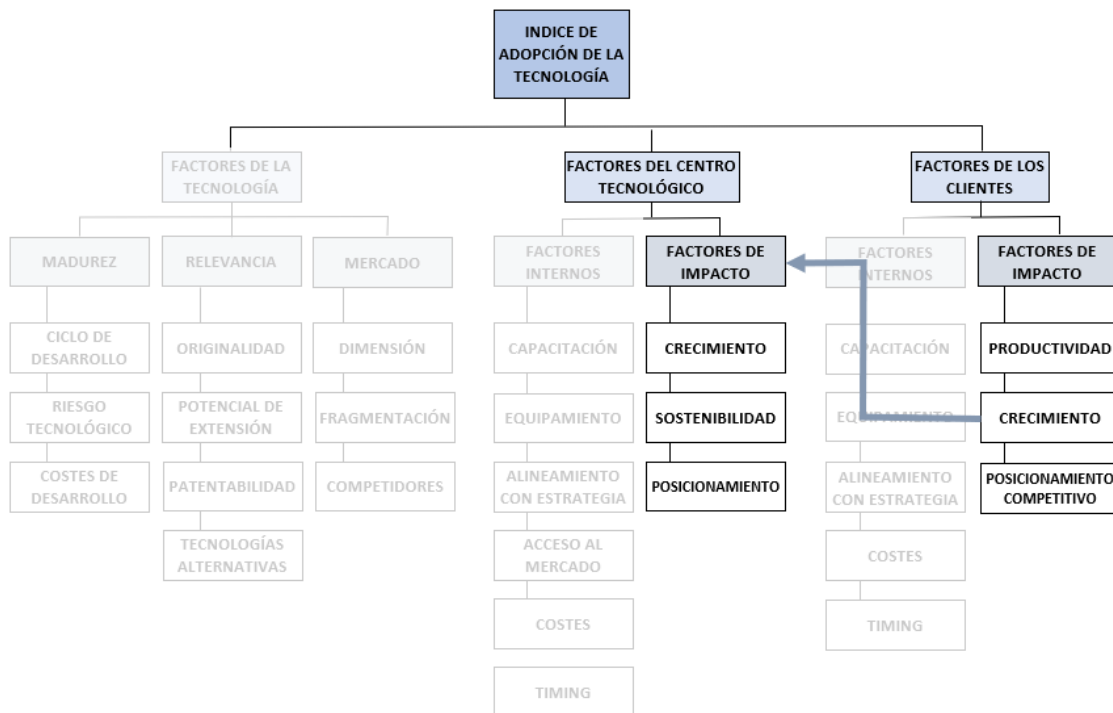


Figura 70: Hipótesis 2\_1

La inclusión en el árbol jerárquico de los factores relacionados con los clientes finales del centro tecnológico ha sido uno de los aspectos más diferenciadores de la configuración de la modelo realizada con el panel de expertos aplicando Delphi, hasta el punto de que el requerimiento “factores de los clientes” es el que ha recibido la mayor ponderación.

Tanto los trabajos analizados en la revisión de la literatura como la opinión de los expertos redundan en la importancia, formulada en esta hipótesis, de alinear el desarrollo tecnológico del centro con sus clientes y el mercado, y por ello, la toma de decisión sobre la adopción de una tecnología debe contemplar los factores asociados a clientes y mercado.

Con la inclusión del criterio factores de los clientes, una valoración positiva de sus indicadores y, consecuentemente, del criterio, redundan en un mayor valor obtenido por el “Índice de Adopción de la Tecnología”.

De esta manera, la hipótesis 2\_1 se considera aprobada.

## 5. Resultados

**Hipótesis 2\_2:** Costes y tiempos de desarrollo elevados en el desarrollo global (centro tecnológico + clientes) reducen la oportunidad de un impacto positivo en el centro y sus clientes

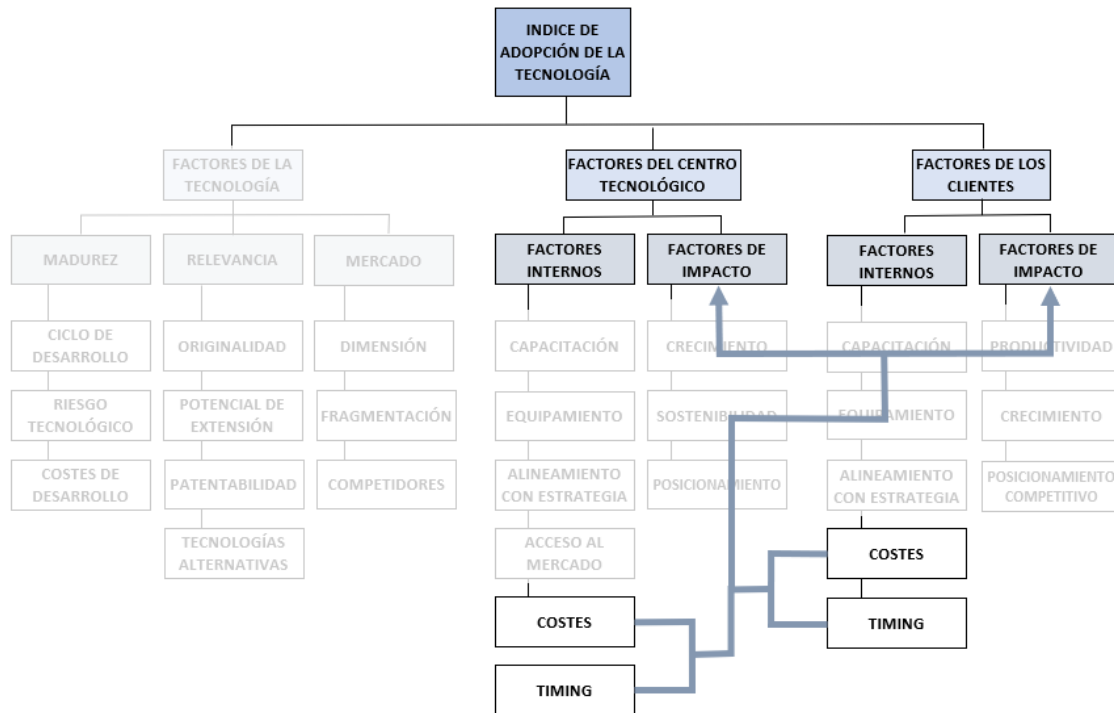


Figura 71: Hipótesis 2\_2

Ambos factores han quedado incluidos entre los indicadores a valorar en el modelo, tanto para el centro tecnológico como para sus clientes potenciales.

En ambos casos, costes y tiempos de desarrollo elevados conducen a una valoración baja del criterio correspondiente, siendo entre ellos los que más penalizan, por su mayor peso, el timing de los clientes y los costes del centro tecnológico.

De esta manera, la hipótesis 2\_2 se considera aprobada.

**Hipótesis 3\_1:** La adecuación de la capacitación, equipamiento y estrategia del centro y los clientes facilitan la adopción de una nueva tecnología y la consecución del impacto esperable en el centro y clientes

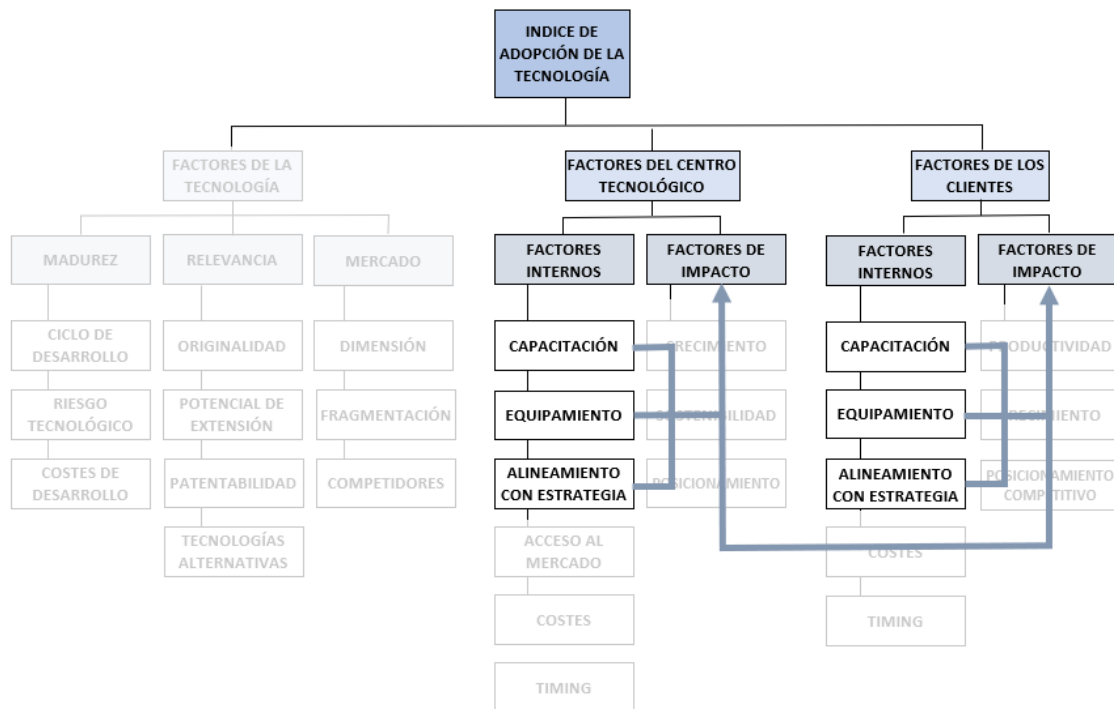


Figura 72: Hipótesis 3\_1

Los tres factores han sido incluidos en el modelo, tanto para el centro tecnológico como para los clientes. El encaje con la estrategia es considerado el más relevante entre los tres referidos en la hipótesis, tanto en la literatura científica de referencia como por el panel de expertos.

En el caso del centro tecnológico ocupa el siguiente lugar en importancia la capacitación profesional de los investigadores, mientras que en el caso de la empresa, el equipamiento ha recibido una ponderación superior.

Por tanto, la tendencia que reciba la valoración de estos tres indicadores se verá reflejada en la misma dirección en el “Índice de Adopción de la Tecnología”.

De esta manera, la hipótesis 3\_1 se considera aprobada.

**Hipótesis 3\_2:** El conocimiento y mecanismos de acceso al mercado por parte del centro tecnológico proporcionan una mayor viabilidad a la adopción de la tecnología (costes y tiempo de desarrollo)

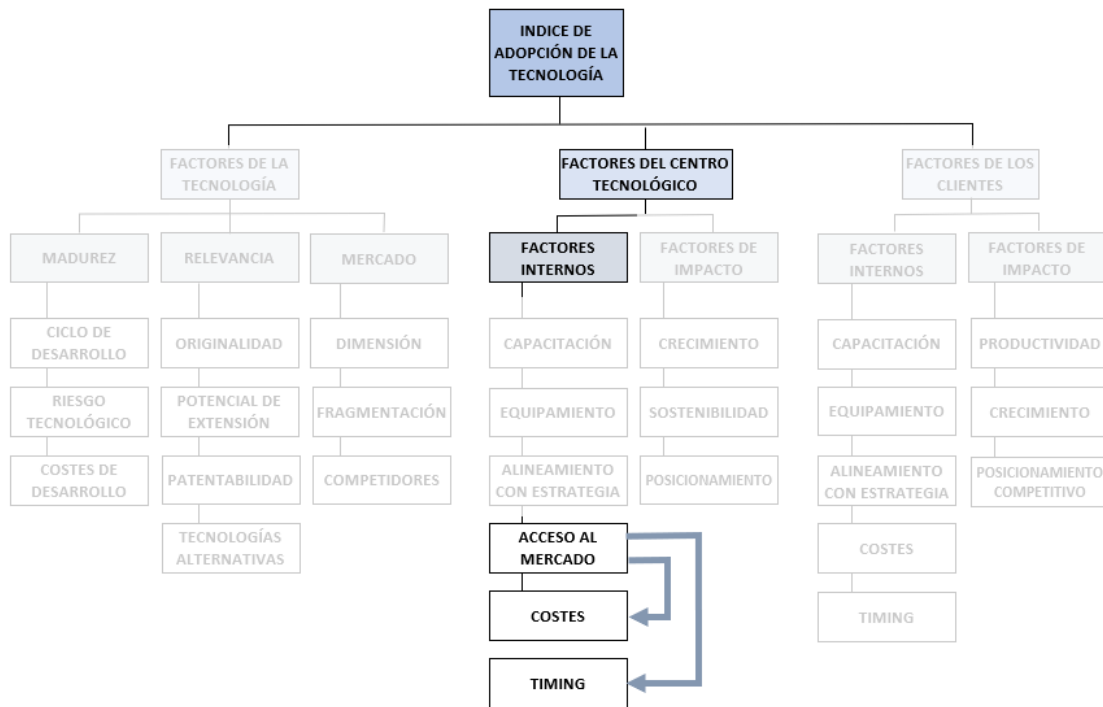


Figura 73: Hipótesis 3\_2

El acceso al mercado fue incluido en el árbol jerárquico a partir de las opiniones de los expertos durante la fase Delphi (figura 29), ya que originalmente no era uno de los factores incluidos en la propuesta inicial de factores. La valoración positiva del indicador redunda favorablemente en el índice global. Por otra parte, la relación que la hipótesis traza con los costes y el tiempo de desarrollo no se refleja en el modelo, en el que siguiendo la metodología AHP, no hay relaciones entre factores (ya sea en el mismo nivel o entre diferentes niveles). Otros métodos de análisis y toma de decisión multicriterio, como el propio ANP desarrollado por el mismo autor (Saaty y Vargas, 2013) sí que introducen relaciones entre factores. Esta es una de las posibles líneas de desarrollo que se abren a partir de esta investigación.

Teniendo en cuenta esta circunstancia, puede considerarse la hipótesis 3\_2 parcialmente aprobada.

5. Resultados

**Hipótesis 3\_3:** En el caso de una tecnología con factores propios favorables, y factores internos de los clientes favorables, aunque la capacitación y el equipamiento del centro tecnológico no sean los más adecuados, el encaje de la tecnología con la estrategia del centro convierte esa limitación en una oportunidad, permitiendo abrir nuevas líneas de desarrollo y capacitación, y con ello generar un crecimiento.

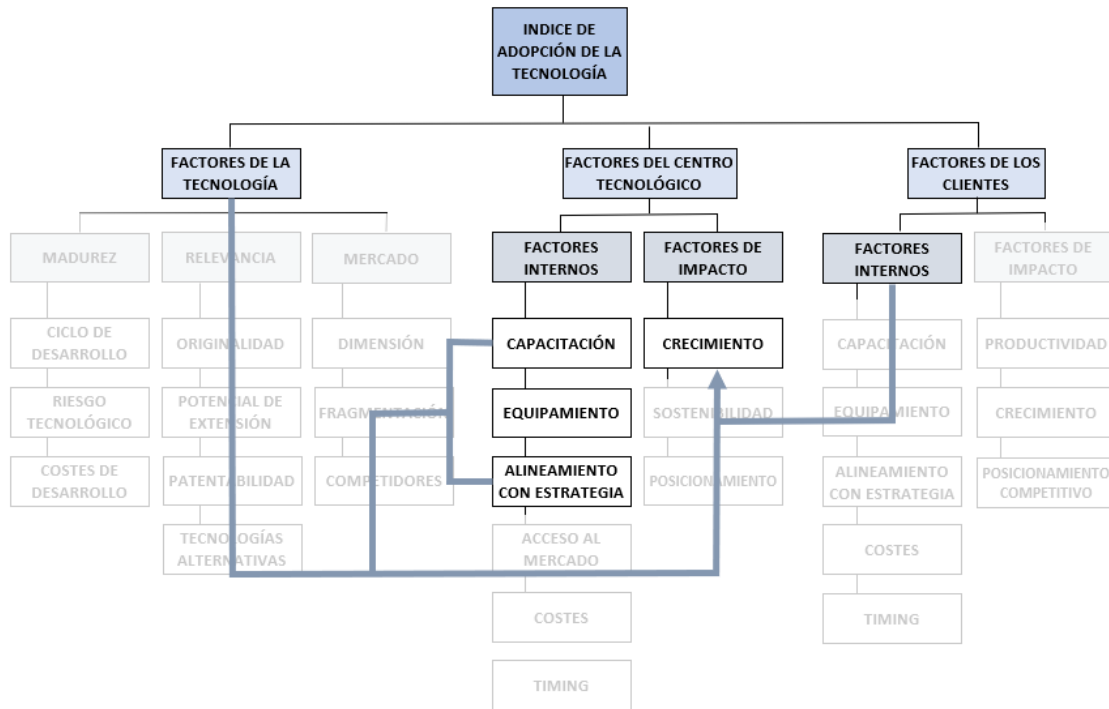


Figura 74: Hipótesis 3\_3

La combinación de valoraciones que propone la hipótesis se traslada al modelo de valoración de la siguiente forma:

- Valoración alta del valor global para el requerimiento “factores propios de la tecnología”
- Valoración alta del requerimiento “factores internos de los clientes potenciales”.
- Valoración alta del indicador “encaje con la estrategia” del centro tecnológico.
- Valoración baja de los indicadores “capacitación y equipamiento” del centro tecnológico.

Introduciendo estos valores en el modelo, el resultado del indicador global, respecto al original obtenido en el modelo, se presenta en la tabla 57.

Tabla 57: Valoración de la hipótesis 3\_3

Caso de estudio	IAT original modelo	Valoración según hipótesis 3_3	Valoración según hipótesis 3_3 al 80%
Laser Cladding	0,698	0,958	0,779
Micromecanizado	0,428	0,938	0,759

El resultado, incluso valorando en un 80% la condición favorable de los dos requerimientos,

## 5. Resultados

---

incrementa el valor de la valoración original del "Índice de Adopción de la Tecnología".

Con estos resultados, la hipótesis 3\_3 se considera aprobada.

**Hipótesis 4\_1: el método MIVES se muestra adecuado para construir un modelo para la valoración, comparación y selección de tecnologías y también para la decisión sobre una única tecnología.**

La operativa de configuración y aplicación del modelo MIVES ha mostrado aspectos funcionales que permiten proponerlo como un método muy adecuado para el problema abordado de selección de tecnologías en el escenario de un centro tecnológico. Algunos de los aspectos que soportan esta hipótesis son:

1. MIVES se apoya en Delphi y AHP, dos métodos sobradamente contrastados en procesos de evaluación y toma de decisión.
2. En el proceso de asignación de pesos, MIVES presenta una de sus cualidades de flexibilidad y amigabilidad de uso, ya que permite asignar pesos siguiendo la comparación por pares de AHP o bien, a elección del usuario configurador del modelo, la asignación directa a partir de la escala absoluta obtenida a partir de las valoraciones asignadas por los expertos en el proceso Delphi. Cabe destacar que MIVES dispone de herramientas para facilitar la comparación por pares, evitando caer en inconsistencias en las comparaciones cruzadas.
3. En la valoración de los indicadores MIVES permite una especial flexibilidad ya que permite tanto asignar funciones de valor, facilitando su configuración, como valores numéricos directos.
4. La definición de alternativas a valorar se hace en la fase final de aplicación del modelo, con lo que el modelo completo se ha configurado previamente, independientemente de las alternativas.
5. El modelo evalúa independientemente las alternativas, por lo que no hay limitaciones en el número de alternativas a valorar, partiendo de una única. Este aspecto es útil para el caso de evaluación de una única alternativa.
6. En esta actividad de valoración de los indicadores se ha procurado primar la utilidad de uso posterior del modelo, basando las valoraciones en datos públicos de fácil acceso o en estimaciones guiadas por el modelo, que en cualquier caso deben permitir al futuro usuario resolver un caso de evaluación de tecnologías en un tiempo que puede estimarse inferior a una jornada de trabajo.

A partir de estas conclusiones sobre el comportamiento del modelo, la hipótesis 4\_1 se considera aprobada.

**Hipótesis 5\_1: La aplicación del modelo a desarrollar en la simulación de casos reales conocidos permite evaluar con suficiente fiabilidad la validez del modelo**

La selección como casos de estudio de los procesos de adopción de dos tecnologías llevados a cabo en el año 2009 responde a que, a pesar de los años transcurridos, se dispone de los datos necesarios para completar la valoración de los indicadores y, adicionalmente, se dispone de la perspectiva en el tiempo que permite analizar la evolución de ambas tecnologías en el centro. Esta perspectiva temporal no constituye un criterio de validación como tal, ya que el modelo no está destinado a predecir la evolución futura de los factores que rigen la evaluación (evolución de las tecnologías, estrategias de los clientes y el mercado), pero se ha podido comprobar que sí proporciona una información de la evolución real que, comparada con la valoración realizada en la aplicación del modelo, aporta un valor añadido a la evaluación de su comportamiento.

De esta manera, la hipótesis 5\_1 se considera aprobada.

## Capítulo 6

---

### **Conclusiones, implicaciones, limitaciones y líneas futuras**



## 6 Conclusiones, implicaciones, limitaciones y líneas futuras

La actividad de I+D+i (Investigación + Desarrollo + innovación) está considerada en la sociedad occidental como fundamental para asegurar un desarrollo socioeconómico mantenido y sostenible (Cetindamar et al., 2009c; Phaal et al., 1998). En el caso de los países industrializados, marco en el que se circunscribe el desarrollo de esta tesis, en los últimos años se evidencia un especial énfasis por parte de todos los agentes tractores, desde la propia Administración Pública hasta el entorno académico e industrial, en resaltar la importancia de incrementar la efectividad de la cadena de desarrollo de la I+D+i, buscando dos objetivos fundamentales: Incrementar la excelencia y la eficiencia del ciclo de investigación y, acortar al máximo el tiempo de maduración de una tecnología, de manera que el tiempo transcurrido entre las primeras actividades de investigación y la llegada al mercado de sus resultados sea el menor posible. La Comisión Europea desarrolló, en esta dirección, el concepto de “*Valley of Death*” (CDTI, 2012), para hacer referencia a la excesiva distancia detectada entre las actividades de investigación y su traslación al mercado, y la necesidad de recortar esa distancia como factor para la competitividad de la industria europea.

En ese escenario, los agentes de investigación y, en particular los centros tecnológicos juegan un papel relevante dentro de la cadena de desarrollo de la I+D+i ya que sus actividades cubren desde las fases de investigación hasta la transferencia tecnológica, es decir, desde un nivel de *Technology Readyness Level* (TRL) 2-3 hasta TRLs 7-8, estando el núcleo de su actividad en la investigación aplicada y el desarrollo tecnológico (TRLs 3-6). Tiene por ello contacto con la ciencia básica y también el contacto más directo con la empresa y, por ello, el éxito de la transferencia de la tecnología al mercado recae en buena medida en sus actuaciones y su desempeño.

La tecnología es el foco de las actuaciones y el desempeño de los centros tecnológicos y un factor considerado fundamental en la estrategia de competitividad de las empresas, por lo que requiere de una visión cuidadosa del alcance y el impacto de su desarrollo e implementación. Por este motivo, el Proceso de Gestión y de Desarrollo de la Tecnología constituye un importante foco de atención en la estrategia de competitividad tanto de empresas como de agentes de investigación en las economías más desarrolladas y, de manera creciente, en las economías en desarrollo (Kotey y Abor, 2019; Mir et al., 2016). En este escenario, se han desarrollado multitud de trabajos, tanto de investigación como de aplicación en forma de metodologías, modelos y herramientas, para la optimización del proceso en las cinco fases en que se estructura, según el modelo de Gregory (1995): identificación, selección, adquisición, explotación y protección.

La presente tesis doctoral se enmarca en la fase de selección de la tecnología, y se centra en abordar la problemática asociada a este proceso dentro de un centro tecnológico, con las particularidades que presenta por su posición y papel dentro de la cadena de desarrollo y

maduración de la tecnología. En el trabajo de investigación que aquí se presenta se ha desarrollado un modelo orientado a facilitar, en su aplicación en un centro tecnológico, la tarea de selección de una nueva tecnología de manera cómoda, lo más objetiva posible y considerando todos los factores clave que marcan la idoneidad de la decisión tomada, de acuerdo a las características de la propia tecnología o tecnologías evaluadas, las características y posición del centro tecnológico y las condicionantes y características de su entorno de actuación.

Las principales conclusiones obtenidas del trabajo de investigación, así como las líneas de desarrollo que se abren a partir de esta investigación, se recogen en los siguientes apartados.

### **6.1 Conclusiones referidas al problema de investigación**

A partir del planteamiento de estructurar el proceso de Gestión de la Tecnología en cinco fases (Gregory, 1995; Gudanowska, 2017), en un centro tecnológico estas cinco fases pueden condensarse en cuatro, integrando en una fase de transferencia las fases de explotación y protección:

1. Fase 1: Identificación de nuevas tecnologías con potencial de desarrollo en el centro tecnológico. Junto con la actividad de selección, fundamental para definir las estrategias de investigación a medio y largo plazo.

Esta actividad se encuentra muy estructurada y asentada en los centros tecnológicos, dotándose de metodologías y herramientas de Vigilancia Tecnológica (Giannopoulou, 2016; López et al., 2016) que permiten una correcta y efectiva identificación de tecnologías, tanto en el entorno cercano como en cualquier campo de interés. Más aún, la presencia internacional de los centros, tanto en foros de divulgación científica, como en proyectos de investigación en colaboración, les proporciona una información fidedigna del Estado del Arte Tecnológico.

2. Fase 2: Selección de tecnologías a desarrollar entre las identificadas en las actividades recogidas en la Fase 1. Fundamental para definir las estrategias de investigación a medio y largo plazo, es una actividad que se realiza habitualmente en los procesos de planificación estratégica y tecnológica de un centro y, sin embargo, es una de las áreas en las que se identifica una mayor carencia en cuanto a metodología y sistemática. Esta carencia se evidencia en el énfasis que la Norma UNE 166000 para la Gestión de la I+D (UNE, 2006) hace en la selección y gestión de las ideas.

3. Fase 3: Proceso de desarrollo de una tecnología dentro del centro tecnológico. Este bloque hace referencia a cómo el centro gestiona la evolución de una tecnología, para recorrer el camino entre el TRL inicial y el TRL objetivo.

Esta actividad se encuentra habitualmente perfectamente estructurada a través de procedimientos, instrucciones y pautas (Cetindamar et al., 2016).

4. Fase 4: Proceso de transferencia de la tecnología al tejido industrial. En este bloque

## 6. Conclusiones, implicaciones, limitaciones y líneas futuras

tienen incidencia factores internos del centro (capacitación, perfiles profesionales) y factores compartidos y/o externos como modelos de colaboración, capacitación (profesional y de equipamiento) de las empresas receptoras.

Esta tesis se ha centrado en la Fase 2, en el proceso de selección de una tecnología. En esta fase del proceso de gestión de la tecnología se encuentran en la bibliografía consultada muy pocas evidencias acerca de actividades sistemáticas o metodológicas en centros tecnológicos que aborden este proceso de análisis, valoración y selección de las tecnologías identificadas para una toma de decisión sobre la idoneidad de apostar por el desarrollo de una nueva tecnología (Meesapawong et al., 2014; Mortazavi Ravari et al., 2016).

Sí se encuentran abundantes referencias respecto a la selección de tecnologías concretas en un nivel de madurez (TRL) alto, de cara a su implementación en empresas. En mucha menor medida se han localizado trabajos relacionados con la toma de decisión sobre la adopción de ámbitos tecnológicos de interés por las administraciones públicas (Tian et al., 2005) y, en número aún inferior trabajos relacionados con la universidad (Segarra-Blasco y Arauzo-Carod, 2008; Xu et al., 2020).

En el escenario industrial y de administración pública, es muy habitual la aplicación de métodos de toma de decisión multicriterio (MCDM) como herramienta central para la valoración y selección de tecnologías. Los métodos MCDM se muestran precisos y eficaces en tomas de decisión en las que interviene factores heterogéneos, cuantitativos y cualitativos y con diferentes unidades de medida. Los métodos multicriterio proporcionan la posibilidad de normalizar la valoración de los factores que intervienen en la caracterización de la decisión y por ello son ampliamente utilizados en múltiples áreas de decisión como industria, economía, sociedad, economía.

En este escenario, el objetivo planteado para la tesis se muestra oportuno y relevante, por los siguientes motivos:

1. Aborda una fase relevante en el proceso de Gestión de la Tecnología, como es la fase de selección de tecnologías
2. La selección de tecnologías es especialmente relevante para un centro tecnológico, porque esta toma de decisión tiene consecuencias para el propio centro y también para el entorno industrial destinatario final de la actividad del centro.
3. La selección de tecnologías en los centros tecnológicos es una actividad poco sistematizada.

### **6.2 Conclusiones referidas al modelo**

Se ha desarrollado un modelo de evaluación y valoración de una o varias tecnologías siguiendo la metodología MIVES. La selección de MIVES se apoya en algunas características particulares que aúnan funcionalidad y novedad:

## 6. Conclusiones, implicaciones, limitaciones y líneas futuras

1. presenta garantías de éxito, por estar sustentado en métodos ampliamente reconocidos (Delphi, AHP), además de presentar referencias de éxito en el sector de la construcción, en el que fue desarrollado.
2. Presenta aspectos innovadores, como las funciones de valor personalizables para la valoración de los indicadores del último nivel jerárquico, lo que permite ajustar la personalización del modelo al escenario de aplicación.
3. Su aplicación fuera del sector de la Construcción, en el que presenta múltiples casos de éxito (Cuadrado et al., 2016; Pardo-Bosch y Aguado, 2016; Pons et al., 2016; Pujadas et al., 2019), en este caso en el sector del Manufacturing y al caso de la toma de decisión en un centro tecnológico incorporan un valor de novedad.

El proceso de configuración del modelo desarrollado siguiendo la metodología MIVES da lugar a las siguientes consideraciones:

1. La revisión de la literatura científica para la identificación de los factores que configuran el modelo se ha focalizado en trabajos orientados a la selección de tecnologías, y se ha complementado con factores clave identificados en el análisis bibliográfico, en particular en los capítulos relacionados con la capacidad de absorción de la tecnología y las relaciones entre agentes de investigación y empresas.
2. La selección de los factores más citados y la agrupación de factores similares bajo los conceptos que se proponen como factores a analizar por el panel de expertos ha resultado adecuadamente trazable, ya que se han identificado bloques coincidentes entre los factores referidos por un número elevado de autores.
3. Esta agrupación de factores en conceptos concurrentes ha permitido proponer al panel de expertos un número no excesivamente elevado de factores, facilitando su labor, pero en un número suficiente para poder recoger opiniones y valoraciones particulares diferentes entre los expertos.
4. El panel de expertos configurado para la evaluación y selección de factores a través de la metodología Delphi se ha llevado a cabo bajo criterios de experiencia y conocimiento complementario (Kennedy, 2004; Steurer, 2011): expertos de universidad, que aportan la visión más científica, expertos de centros tecnológicos, núcleo y destinatarios objetivo de la investigación y el modelo desarrollado, expertos de empresa, como destinatarios finales del desarrollo de cualquier tecnología, y expertos de entidades de promoción y transferencia, con su visión del mercado y de las relaciones empresa-centro.
5. El proceso Delphi se ha completado en dos rondas de convergencia hacia el consenso, siendo orientado por el equipo de análisis hacia la selección de un número no excesivo de factores, siguiendo la recomendación de evitar un número elevado, no superior a veinte factores según las orientaciones de MIVES (Aguado et al., 2006; Viñolas et al., 2009).

## 6. Conclusiones, implicaciones, limitaciones y líneas futuras

6. El aspecto más notorio de la aportación del panel de expertos ha consistido en la eliminación de los factores inicialmente propuestos para caracterizar el impacto en el centro tecnológico y los clientes. Los expertos han considerado que estos factores son consecuencias del acierto en la selección de la tecnología y no factores que caractericen el sistema tecnología-centro-empresa.

El acierto de esta decisión del panel de expertos se verifica en la fase de valoración de los indicadores del modelo, en la que la valoración de los indicadores relacionados con el impacto carecería de sentido, evidenciándose que son un resultado esperable de la adopción de la tecnología y no la caracterización de un área de valoración.

7. El propio proceso de construcción del modelo MIVES ha mostrado algunas de las virtudes del método:

- a. La asignación de pesos a indicadores, criterios y requerimientos es flexible, pudiéndose aplicar comparación por pares según AHP o bien una asignación directa a partir de las ponderaciones proporcionadas por el panel de expertos. Se ha optado por el método de comparación por pares, para el que MIVES dispone de herramientas que facilitan esta actividad, evitando caer en inconsistencias en las comparaciones cruzadas. Es particularmente útil cuando los factores de un mismo bloque son más de tres.
- b. Valoración de los indicadores. De nuevo, MIVES proporciona una especial flexibilidad en la valoración de los indicadores, ya que permite tanto asignar funciones de valor como valores numéricos directos.

8. En la actividad de valoración de los indicadores se ha procurado primar la utilidad de uso posterior del modelo, basando las valoraciones en datos públicos de fácil acceso o en estimaciones guiadas por el modelo, que en cualquier caso deben permitir al futuro usuario resolver un caso de evaluación de tecnologías en un tiempo que puede estimarse inferior a una jornada de trabajo. La posterior resolución de los casos de estudio ha corroborado esta agilidad.

### **6.3 Conclusiones referidas a la aplicación del modelo a dos casos de estudio**

Los aspectos más destacables de la aplicación del modelo desarrollado a los dos casos de éxito son:

1. Se han seleccionado los casos de estudio bajo una perspectiva temporal. Se han seleccionado dos tecnologías que fueron adoptadas para su desarrollo en los años 2008-2009, por parte del centro tecnológico Ideko.

Esta elección responde a que, a pesar de los años transcurridos, se dispone de los datos necesarios para completar la valoración de los indicadores y, adicionalmente, se

## 6. Conclusiones, implicaciones, limitaciones y líneas futuras

dispone de la perspectiva en el tiempo que permite analizar la evolución de ambas tecnologías en el centro. Como se concluirá más adelante, la perspectiva temporal, si bien no puede constituirse como un criterio de validación, ya que el modelo no está destinado a predecir la evolución futura de los factores que rigen la evaluación, sí proporciona una información de la evolución real que, comparada con la valoración realizada en la aplicación del modelo, ha aportado un valor añadido a la evaluación de su comportamiento.

2. La valoración de las alternativas (los casos de estudio) se lleva a cabo de forma independiente, por lo que MIVES permite valorar también una única alternativa. Este es un aspecto relevante para el objeto final de esta investigación, que es la aplicación del modelo a la valoración de una única tecnología sobre la que se quiera llevar a cabo la toma de decisión.

El resultado final de la valoración es la obtención de un índice global, con un valor entre 0 y 1, y que en este modelo se ha denominado “Índice de Adopción de la Tecnología” (IAT). En una valoración excluyente entre alternativas, este índice permite hacer un ranking entre ellas, en el caso de la valoración de una única, el índice no proporciona una información definitiva, ya que no es factible asignar un valor umbral a partir del cual la decisión de adopción puede ser favorable o por debajo del cuál se desaconseja una decisión positiva de adopción de la tecnología. La decisión, en este caso, requiere de un mayor análisis de los indicadores valorados, contrastando los resultados con la posición y la visión del equipo decisor.

Por tanto, cabe concluir que en el caso de valorar varias alternativas, el modelo proporciona una clasificación o ranking entre ellas, del que puede derivarse la decisión, mientras que en el caso de valoración de una única tecnología, excepto para situaciones en que se alcance un valor extremo (alto o bajo), la decisión puede requerir de un análisis más detallado de las puntuaciones alcanzadas por los diferentes indicadores, criterios y requerimientos.

3. El proceso de valoración se ha completado con un análisis de sensibilidad, actividad recomendada como opcional en la propia metodología MIVES, de la misma forma que se lleva a cabo de manera habitual en la aplicación de AHP. El método utilizado para realizar esta actividad ha sido el denominado *One at a Time*, en el que en cada simulación se varía un único factor (requerimiento en este caso). Este método de muestra de uso amigable, requiere de poco esfuerzo computacional y la interpretación de los resultados es sencilla.

El análisis de sensibilidad practicado para ambos casos de estudio, configurando seis escenarios de variación, con modificaciones de los pesos de los requerimientos del 30, 50 y 80% (positivos y negativos) ha proporcionado una máxima variación del 9%, para un caso de variación del 80%, por lo que el resultado es positivo, validando la estabilidad del modelo.

## 6. Conclusiones, implicaciones, limitaciones y líneas futuras

4. Como se ha indicado anteriormente, la perspectiva temporal con la que se ha planteado la aplicación y el análisis de los casos de estudio ha proporcionado una referencia sobre la evolución de las tecnologías evaluadas en el período que va desde el momento en el que el centro tecnológico Ideko decidió apostar por ambas tecnologías, decisión que se ha simulado en los casos de estudio de esta investigación.
5. La perspectiva temporal no se plantea como una validación del modelo, porque el modelo MIVES no se formula como una proyección de futuro, y determinados indicadores pueden sufrir variaciones en su comportamiento a lo largo del tiempo, como es el caso de la evolución de la propia tecnología, el mercado o los competidores. Incluso factores del propio centro o sus clientes como sus apuestas estratégicas evolucionan en el tiempo. Sin embargo, se ha verificado que la evolución en el tiempo de algunos indicadores guarda relación con su situación en el momento de la toma de decisión y puede trazarse una línea de trazabilidad entre los datos disponibles y también las valoraciones realizadas por el equipo de análisis y la evolución posterior, por lo que se considera que este análisis proporciona una información complementaria valorable para la validación del modelo.

### **6.4 Limitaciones y líneas futuras de desarrollo derivadas**

Las limitaciones de la investigación desarrollada, trasladable a aspectos que merecen una consideración para futuras líneas de investigación se han ido indicando en las conclusiones de los correspondientes capítulos, y merecen una explicación más extensa en este punto.

El modelo MIVES se configura siguiendo la metodología AHP, a partir de la que se construye un árbol puramente jerárquico. Si bien, el resultado alcanzado ha sido satisfactorio, tanto en la configuración del modelo como en la ejecución de los casos de estudio, tanto en la formulación de las hipótesis como en la fase de construcción del propio árbol, soportado por el panel de expertos, se ha planteado la interrelación entre algunos indicadores correspondientes a diferentes criterios (p.ej. en la formulación de la hipótesis 3\_3). Esto abre la puerta a explorar la idoneidad de aplicar un método que tenga en cuenta esas interdependencias entre factores, como puede ser el ANP, desarrollado por el propio autor de AHP, Thomas Saaty (Saaty, 2004). ANP está representado por una red, en lugar de una jerarquía, con ciclos que conectan los elementos, que ya no podemos llamar niveles, y con bucles que conectan un componente a sí mismo. El reto del nuevo método consiste en determinar las prioridades de los elementos de la red y, en particular, las alternativas de la decisión y aún más la validez del resultado. Dado que la retroalimentación implica ciclos, y este proceso puede derivar en un bucle infinito, las operaciones necesarias para definir las prioridades se vuelven más críticas que en AHP y el modelo más complejo de resolver (Saaty y Vargas, 2013). Una posible línea de investigación podría establecerse en un análisis comparativo entre dos modelos construido a partir de ambas técnicas, o la combinación con otros métodos MCDM como se ha mencionado en múltiples trabajos en el análisis bibliográfico (Antucheviciene et al., 2011; Labib, 2011; Ocampo et al.,

2020; Taha y Rostam, 2012).

El resultado del modelo MIVES se concreta en un índice global, denominado "Índice de Adopción de la Tecnología" en esta investigación. Este índice, con valor entre 0 y 1, permite establecer un ranking, una clasificación, entre las alternativas valoradas con el modelo. Sin embargo, en el caso de evaluar una única alternativa, este índice no puede establecerse como un criterio de decisión, sino como un valor orientativo, ya que, en la aplicación pura del modelo, no se establece un valor umbral que marque la toma de decisión favorable. Es decir, no es posible decir que una alternativa valorada en 0,4, por poner un ejemplo, no debe ser adoptada, o que una tecnología con un 0,6, por ejemplo, puede ser adoptada sin ninguna duda. Esta es una característica inherente al método, como al resto de métodos MCDM y esta limitación en la valoración de una única tecnología puede superarse llevando a cabo el análisis más detallado de las valoraciones obtenidas de los distintos indicadores y criterios. Este análisis permite identificar cuáles son los aspectos más débiles del caso de estudio y, contrastar esos aspectos débiles con las perspectivas y objetivos de la decisión. La posible incorporación de un mecanismo o método para automatizar esta información puede abrir una línea de trabajo que redundaría en la facilidad de uso y en la información que el modelo proporciona al usuario en su toma de decisión.

## **6.5 Aportaciones e Implicaciones derivadas de la investigación**

### **6.5.1 Implicaciones relacionadas con el comportamiento del modelo**

Como se ha descrito durante la memoria, uno de los aspectos más novedosos de este trabajo de investigación reside en su aplicación a la toma de decisión de un centro tecnológico, observando todos los factores asociados a su escenario de actuación (la tecnología, el propio centro, los clientes y el mercado). Esta visión global incorpora aspectos como las relaciones centro-empresa, o la capacidad de absorción de las empresas, que son aspectos que configuran, como se ha descrito en el análisis bibliográfico, líneas de investigación en sí mismas. El modelo de valoración podría complementarse incorporando un análisis más detallado de estos aspectos, con modelos parciales dedicados a analizarlos en detalle. En principio, esta aproximación complicaría el proceso de construcción del modelo y quizá también el proceso de ejecución para la evaluación de alternativas, pero podría redundar en una mayor precisión y, especialmente, aportaría una mayor información al equipo de análisis.

También podría ser posible una mayor adaptación del modelo a los casos de estudio o alternativas, en aquellos casos en que se comparan varias alternativas homogéneas. En este caso podrían adaptarse las funciones de valor, de forma que las propias alternativas marquen los valores máximos y mínimos. Esta aproximación complica la aplicación y, en cierta medida, contradice la formulación de MIVES, que independiza la construcción del modelo respecto a la definición de las alternativas. Sin embargo, podría permitir definir mejor las diferencias entre las alternativas valoradas.



### **6.5.2 Implicaciones relacionadas con la extensión a otras organizaciones y escenarios de decisión**

La valoración favorable de la utilidad de aplicación de modelo en un agente de investigación, permiten visualizar la extensión del mismo a terrenos de análisis relacionados con el escenario global de actividad de un centro. Así, otras áreas estratégicas en la actividad de un centro tecnológico, o de cualquier agente de investigación, como las relaciones estratégicas con las empresas, o las alianzas estratégicas entre agentes científico-tecnológicos para el desarrollo conjunto de temáticas de investigación son áreas en las que el concepto del modelo desarrollado se presenta como una interesante línea de desarrollo.

La ampliación de la investigación a otros tipos de organizaciones de I+D también se presenta como un campo de aplicación interesante. Como se ha indicado en la memoria, el modelo es aplicable, prácticamente sin modificación alguna, a una unidad de I+D de una empresa o una corporación cuya estrategia esté fuertemente ligada al desarrollo tecnológico. También para empresas de base tecnológica, en su aproximación a la tecnología y el mercado, el modelo puede ser aplicable para apoyar en la definición de la apuesta tecnológica y de mercado.

Más aún, se han identificado muy pocos trabajos de investigación relacionados con la toma de decisión en otros agentes de investigación, y ninguno que incluya la visión global del escenario de actuación, valorando desde la tecnología hasta el mercado. La adaptación del concepto del modelo a centros universitarios u otros grupos de investigación también se muestra como una línea de desarrollo, que podría aportarles información en sus procesos de toma de decisión.

El hecho de ampliar el estudio en otros tipos de organizaciones de investigación puede ser de utilidad también para las administraciones públicas, ya que proporcionaría información sobre el enfoque de investigación, alianzas, relaciones de diferentes entidades dedicadas a la I+D, que tiene diferentes objetivos, estrategias y formas de hacer. Esto permitiría también la comparación de los enfoques de investigación, así como su impacto en su propio rendimiento en diferentes tipos organizaciones de I+D.

Finalmente, el concepto del modelo es aplicable internacionalmente, dado el paralelismo en constitución y operativa de los centros de investigación vascos con sus homólogos internacionales. Con las debidas adaptaciones a las particularidades locales, el concepto y el modelo desarrollados podría ser trasladado de una manera prácticamente inmediata, tanto a nivel nacional como internacional.

## 6.6 Publicaciones resultado de la investigación

Durante la realización de la presente tesis, se han realizado una serie de publicaciones que se resumen en la tabla 58, indicando su estado.

**Tabla 58:** Publicaciones resultado de la investigación

Nº	Artículo
1	Lizarralde, R., Ganzarain, J., Azcarate, A., 2018, A MCDM model for the Selection of Technologies in a R&D Centre. 2018, 12th International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management XXII Congreso de Ingeniería de Organización, Girona, Spain Estado: Presentado
2	Lizarralde, R., Ganzarain, J., 2019. Strategic Selection of Technologies in R&D Institutions: A Methodology based on MCDM Methods. ISPIM Conference Proceedings, ISPIM2019, Florence, Italy. Estado: Publicado
3	Lizarralde, R., Ganzarain, J., 2019. A Multicriteria Decision Model for the Evaluation and Selection of Technologies in a R&D Centre. International Journal of Production Management and Engineering, 7, 101-106. Estado: Publicado
4	Lizarralde, R., Ganzarain, J., López, C., Serrano, I. 2020. An Industry 4.0 maturity model for machine tool companies. Technological Forecasting and social Change, 159. Estado: Publicado
5	Lizarralde, R., Ganzarain, J., Zubizarreta, M. 2020. Adaptation of the MIVES method for the Strategic Selection of New Technologies at an R&D Centre. Focus on the manufacturing sector. Technovarian. Estado: En revision
6	Lizarralde, R., Ganzarain, J., Zubizarreta, M. 2020. Assessment and Selection of Technologies for the Sustainable Development of an R&D Center. Sustainability. Estado: Publicado

## Capítulo 7

---

### **Referencias Bibliográficas**

## 7 Referencias bibliográficas

- Aapaoja, A., Kujala, J., 2012. Productization of University Services. *International Journal of Synergy and Research* 1, 89-106.
- Abdel-Basset, M., Mohamed, M., Smarandache, F., 2018. A hybrid neutrosophic group ANP-TOPSIS framework for supplier selection problems. *Symmetry* 10. <https://doi.org/10.3390/sym10060226>
- Abernathy, W.J., Clark, K.B., 1985. Innovation: Mapping the winds of creative destruction. *Research Policy* 14, 3-22. [https://doi.org/10.1016/0048-7333\(85\)90021-6](https://doi.org/10.1016/0048-7333(85)90021-6)
- Adams-Bigelow, M., 2004. First Results from the 2003 Comparative Performance Assessment Study (CPAS), en: *The PDMA Handbook of New Product Development*. Wiley, pp. 546-566. <https://doi.org/10.1002/9780470172483.ch36>
- ADDIMAT, 2019. Additive manufacturing. ADDIMAT, Asociación Española de Tecnologías de Fabricación Aditiva y 3D. <https://doi.org/10.1080/02670836.2016.1197523>
- AFM, s. f. Máquina Herramientas: Tipos y campos de aplicación [WWW Document]. URL <https://www.afm.es/es/productos/maquinas-herramienta> (accedido 10.18.20).
- Afshari, A.R., Mojahed, M., Yusuff, R.M., Hong, T.S., Ismail, M.Y., 2010. Personnel selection using ELECTRE. *Journal of Applied Sciences* 10, 3068-3075. <https://doi.org/10.3923/jas.2010.3068.3075>
- Aguado, A., Manga, R., Ormazabal, G., 2006. "Los aspectos conceptuales del proyecto MIVES". La medida de la sostenibilidad en edificación industrial. Modelo integrado de Valor en Edificios Sostenibles (MIVES). LBEIN, UPV-EHU, UPC 249-271.
- Aguarón, J., Escobar, M.T., Moreno-Jiménez, J.M., 2016. The precise consistency consensus matrix in a local AHP-group decision making context. *Annals of Operations Research* 245, 245-259. <https://doi.org/10.1007/s10479-014-1576-8>
- Aguilar-Olaves, G., Herrera, L., Clemenza, C., 2014. Capacidad de absorción: aproximaciones teóricas y empíricas para el sector servicios. *Revista Venezolana de Gerencia* 19. <https://doi.org/10.37960/REVISTA.V19I67.7440>
- Akman, G., 2015. Evaluating suppliers to include green supplier development programs via fuzzy c-means and VIKOR methods. *Computers and Industrial Engineering* 86, 69-82. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2014.10.013>
- Alarcon, B., Aguado, A., Manga, R., Josa, A., 2011. A value function for assessing sustainability: Application to industrial buildings. *Sustainability* 3, 35-50. <https://doi.org/10.3390/su3010035>

- Albadvi, A., Chaharsooghi, S.K., Esfahanipour, A., 2006. Discrete Optimization Decision making in stock trading: An application of PROMETHEE. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2005.11.022>
- Alberti, M.G., Gálvez, J.C., Enfedaque, A., Carmona, A., Valverde, C., Pardo, G., 2018. Use of steel and polyolefin fibres in the La Canda tunnels: Applying MIVES for assessing sustainability evaluation. *Sustainability* (Switzerland) 10. <https://doi.org/10.3390/su10124765>
- Alberto Notario, C., 2017. El Hype Cycle de Gartner. *Nota de Futuro* 1-11.
- Albors, J., Rincon, C., Igartua López, J.I., 2014. Research technology organisations as leaders of R&D collaboration with SMEs: role, barriers and facilitators. *Technology Analysis and Strategic Management* 26, 37-53. <https://doi.org/10.1080/09537325.2013.850159>
- Alias, M.A., Zaiton, S., Hashim, M., Samsudin, S., 2008. Multi Criteria Decision Making And Its Applications: A Literature Review. *Jurnal Teknologi Maklumat* 2, 129-152.
- Alimardani, M., Hashemkhani Zolfani, S., Aghdaie, M.H., Tamošaitiene, J., 2013. A novel hybrid SWARA and VIKOR methodology for supplier selection in an agile environment. *Technological and Economic Development of Economy* 19, 533-548. <https://doi.org/10.3846/20294913.2013.814606>
- Alipour, M., Hafezi, R., Amer, M., Akhavan, A.N., 2017. A new hybrid fuzzy cognitive map-based scenario planning approach for Iran's oil production pathways in the post-sanction period. *Energy* 135, 851-864. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.06.069>
- Almannai, B., Greenough, R., Kay, J., 2008. A decision support tool based on QFD and FMEA for the selection of manufacturing automation technologies. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing* 24, 501-507. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2007.07.002>
- AM-Platform, 2013. Additive manufacturing: Strategic Research Agenda. AM-Platform. <https://doi.org/10.3139/9781569905838.fm>
- An, Y., Lee, S., Park, Y., 2008. Development of an integrated product-service roadmap with QFD: A case study on mobile communications. *International Journal of Service Industry Management* 19, 621-638. <https://doi.org/10.1108/09564230810903497>
- Anand, G., Kodali, R., 2009. Selection of lean manufacturing systems using the analytic network process - A case study. *Journal of Manufacturing Technology Management* 20, 258-289. <https://doi.org/10.1108/17410380910929655>
- Anand, M.B., Vinodh, S., 2018. Application of fuzzy AHP – TOPSIS for ranking additive manufacturing processes for microfabrication. *Rapid Prototyping Journal* 24, 424-435. <https://doi.org/10.1108/RPJ-10-2016-0160>
- Anderegg, S., Zoller, F.A., Boutellier, R., 2013. Sharing research equipment to bridge intraorganizational boundaries. *Research Technology Management* 56, 49-57. <https://doi.org/10.5437/08956308X5601082>

- Ankrah, S.N., AL-Tabbaa, O., 2015. Universities-industry collaboration: A systematic review. *Scandinavian Journal of Management* 31, 387-408. <https://doi.org/10.1016/j.scaman.2015.02.003>
- Ankrah, S.N., Burgess, T.F., Grimshaw, P., Shaw, N.E., 2013. Asking both university and industry actors about their engagement in knowledge transfer: What single-group studies of motives omit. *Technovation* 33, 50-65. <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2012.11.001>
- Antucheviciene, J., Zakarevicius, A., Zavadskas, E.K., 2011. Measuring congruence of ranking results applying particular MCDM methods. *Informatica* 22, 319-338.
- Anvari, A., Zulkifli, N., Sorooshian, S., Boyerhassani, O., 2014. An integrated design methodology based on the use of group AHP-DEA approach for measuring lean tools efficiency with undesirable output. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 70, 2169–2186. <https://doi.org/10.1007/s00170-013-5369-z>
- APM, 1992. Project risk analysis and management. *THE ASSOCIATION FOR PROJECT MANAGEMENT* 35-36. [https://doi.org/10.1007/978-88-470-5244-4\\_7](https://doi.org/10.1007/978-88-470-5244-4_7)
- Arancegui, M., Sabalza, X., 2016. Reflexiones sobre la Industria 4.0 desde el caso vasco. *Ekonomiaz: Revista vasca de*.
- Aranguren, N., Ganzarain, J., Valls, J., 2013. Collaboration model between a technological centre and a sme for the innovation management. *Dyna (Spain)* 88, 226-233. <https://doi.org/10.6036/5098>
- Arthur, W.B., 2007. The structure of invention. *Research Policy* 36, 274-287. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2006.11.005>
- Asesoria Zabala, 2006. "Estudio a Nivel Nacional para Estimular la Cooperación entre Pymes y Centros Tecnológicos.
- Aslantas, K., Danish, M., Hasçelik, A., Mia, M., Gupta, M., Ginta, T., Ijaz, H., 2020. investigations on surface roughness and toolwear characteristics in micro-turning of Ti-6Al-4V alloy. *Materials* 13, 1-20. <https://doi.org/10.3390/ma13132998>
- ASTM International, 2012. ASTM F2792-10. Standard Terminology for Additive Manufacturing Technologies. ASTM International, West Conshohocken, PA.
- Athawale, V.M., Chakraborty, S., 2011. A comparative study on the ranking performance of some multi-criteria decision-making methods for industrial robot selection. *International Journal of Industrial Engineering Computations* 2, 831-850. <https://doi.org/10.5267/j.ijiec.2011.05.002>
- Autor, D.H., Levy, F., Murnane, R.J., 2003. The Skill Content of Recent Technological Change: An Empirical Exploration. *The Quarterly Journal of Economics* 118, 1279-1333.
- Badawy, M.K., 1998. *Technology Management Education: Alternative Models*. California

Management Review 40, 94-116. <https://doi.org/10.2307/41165966>

- Baker, J., Lovell, K., Harris, N., 2006. How expert are the experts? An exploration of the concept of «expert» within Delphi panel techniques. *Nurse researcher* 14, 59-70. <https://doi.org/10.7748/nr2006.10.14.1.59.c6010>
- Balachandra, R., Brockhoff, K.K., Pearson, A.W., 1996. R & D Project termination decisions: Processes, communication, and personnel changes. *Journal of Product Innovation Management* 13, 245-256. [https://doi.org/10.1016/0737-6782\(96\)00026-4](https://doi.org/10.1016/0737-6782(96)00026-4)
- Ballard, S.C., Hall, T.A., 1984. Theory and practice of integrated impact assessment. The case of the western energy study. *Technological Forecasting and Social Change* 25, 37-48. [https://doi.org/10.1016/0040-1625\(84\)90079-9](https://doi.org/10.1016/0040-1625(84)90079-9)
- Banker, R.D., Charnes, A., Cooper, W.W., 1984. Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis. *Management Science* 30, 1078-1092. <https://doi.org/10.1287/mnsc.30.9.1078>
- Banuls, V.A., Salmeron, J.L., 2007. A Scenario-Based Assessment Model-SBAM. *Technological Forecasting and Social Change* 74, 750-762. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2006.05.015>
- Barba-Romero, S., 1996. Manual para la toma de decisiones Multicriterio. Instituto Latinoamericano y del Caribe.
- Barbolla, A.M.B., Corredera, J.R.C., 2009. Critical factors for success in university-industry research projects. *Technology Analysis and Strategic Management* 21, 599-616. <https://doi.org/10.1080/09537320902969133>
- Baregheh, A., Rowley, J., Sambrook, S., 2009. Towards a multidisciplinary definition of innovation. *Management Decision* 47, 1323-1339. <https://doi.org/10.1108/00251740910984578>
- Barge-Gil, A., Modrego-Rico, A., 2008. Are technology institutes a satisfactory tool for public intervention in the area of technology? A neoclassical and evolutionary evaluation. *Environment and Planning C: Government and Policy* 26, 808-823. <https://doi.org/10.1068/c70m>
- Barge-Gil, A., Santamaría, L., Modrego, A., 2011. Complementarities between universities and technology institutes: New empirical lessons and perspectives. *European Planning Studies* 19, 195-215. <https://doi.org/10.1080/09654313.2011.532665>
- Bari, F., Leung, V., 2007. Application of ELECTRE to network selection in a heterogeneous wireless network environment, en: *IEEE Wireless Communications and Networking Conference, WCNC*. pp. 3813-3818. <https://doi.org/10.1109/WCNC.2007.697>
- Barnes, T., Pashby, I., Gibbons, A., 2002. Effective University – Industry Interaction: A Multi-case Evaluation of Collaborative R&D Projects. *European Management Journal* 20, 272-

285. [https://doi.org/10.1016/S0263-2373\(02\)00044-0](https://doi.org/10.1016/S0263-2373(02)00044-0)

- Barry, A.M., Fenton, M., 2013. University–industry links in R&D and consultancy in Ireland's indigenous high-tech sector. *Irish Geography* 46, 51-77. <https://doi.org/10.1080/00750778.2014.898426>
- Başdar, C., Alper, D., 2017. A Comparison of TOPSIS and ELECTRE Methods: An Application on the Factoring Industry. *Business and Economics Research Journal* 8, 627-646. <https://doi.org/10.20409/berj.2017.70>
- Basque Digital Innovation Hub - Basque industry [WWW Document], s. f. URL <https://basqueindustry.spri.eus/es/basque-digital-innovation-hub/> (accedido 5.24.20).
- Bastic, M., 2004. Success factors in transition countries. *European Journal of Innovation Management*. <https://doi.org/10.1108/14601060410515655>
- Bayazit, O., 2005. Use of AHP in decision-making for flexible manufacturing systems. *Journal of Manufacturing Technology Management* 16, 808-819. <https://doi.org/10.1108/17410380510626204>
- Behzadian, M., Khanmohammadi Otaghsara, S., Yazdani, M., Ignatius, J., 2012. A state-of-the-art survey of TOPSIS applications. *Expert Systems with Applications* 39, 13051-13069. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2012.05.056>
- Belderbos, R., Carree, M., Lokshin, B., Fernández Sastre, J., 2015. Inter-temporal patterns of R&D collaboration and innovative performance. *Journal of Technology Transfer* 40, 123-137. <https://doi.org/10.1007/s10961-014-9332-4>
- Benayoun, B., Roy, B., Sussmann, B., 1966. ELECTRE : Une méthode pour guider le choix en présence de points de vue multiples. Note de travail n° 49 de la Direction Scientifique de la SEMA.
- Benson, B., Sage, A.P., Cook, G., 1993. Emerging Technology-Evaluation Methodology: With Application to Micro-electromechanical Systems. *IEEE Transactions on Engineering Management* 40, 114-123. <https://doi.org/10.1109/17.277403>
- Benson, D., Ziedonis, R.H., 2009. Corporate venture capital as a window on new technologies: implications for the performance of corporate investors when acquiring startups. *Organization Science* 20, 329-351. <https://doi.org/10.1287/orsc.1080.0386>
- Bergen, M., Peteraf, M.A., 2002. Competitor Identification and Competitor Analysis: A Broad-Based Managerial Approach. *MANAGERIAL AND DECISION ECONOMICS* 23, 157-169. <https://doi.org/10.1002/mde.1059>
- Bernard, O., Rintari, N., Wawire, F., 2011. Segmentation in Manufacturing and Service Industry : a Key to Profitability. *European Journal of Business and Management* 1905.
- Bernroider, E., Koch, S., 2001. ERP selection process in midsize and large organizations. *Business Process Management Journal* 7, 251-257.



<https://doi.org/10.1108/14637150110392746>

- Berry, M.M.J., Taggart, J.H., 1994. Managing technology and innovation: a review. *R&D Management* 24, 341-353. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9310.1994.tb00889.x>
- Bettis, R.A., Hitt, M.A., 1995. The new competitive landscape. *Strategic Management Journal* 16, 7-19. <https://doi.org/10.1002/smj.4250160915>
- Beyhan, B., Cetindamar, D., 2011. No escape from the dominant theories: The analysis of intellectual pillars of technology management in developing countries. *Technological Forecasting and Social Change* 78, 103-115. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2010.10.001>
- Bhattacharya, A., Geraghty, J., Young, P., 2010. Supplier selection paradigm: An integrated hierarchical QFD methodology under multiple-criteria environment. *Applied Soft Computing Journal* 10, 1013-1027. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2010.05.025>
- Bhattacharya, A., Sarkar, B., Mukherjee, S.K., 2005. Integrating AHP with QFD for robot selection under requirement perspective. *International Journal of Production Research* 43, 3671-3685. <https://doi.org/10.1080/00207540500137217>
- Biege, S., Copani, G., Lay, G., Marvulli, S., Schröter, M., 2009. Innovative service-based business concepts for the machine tool building industry. *Proceedings of the 1st CIRP Industrial Product-Service Systems (IPS2) Conference* 173-179.
- Bishop, P., Hines, A., Collins, T., 2007. The current state of scenario development: An overview of techniques. *Foresight* 9, 5-25. <https://doi.org/10.1108/14636680710727516>
- Bloom, N., Reenen, J. Van, 2010. CEP Discussion Paper No 982 May 2010 Human Resource Management and Productivity. *Social Research* 90.
- Blumenthal, D., 2003. Academic-Industrial Relationships in the Life Sciences. *New England Journal of Medicine*. <https://doi.org/10.1056/NEJMhpr035460>
- Boddy, D., MacBeth, D., Wagner, B., 2000. Implementing Collaboration Between Organisations. *Journal of Management Studies* 37, 1003-1017.
- Boe-Lillegraven, S., Monterde, S., 2015. Exploring the cognitive value of technology foresight: The case of the Cisco Technology Radar. *Technological Forecasting and Social Change* 101, 62-82. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2014.07.014>
- Boje, D.M., Murnighan, J.K., 1982. GROUP CONFIDENCE PRESSURES IN ITERATIVE DECISIONS. *MANAGE SCI* 28, 1187-1196. <https://doi.org/10.1287/mnsc.28.10.1187>
- Bonaccorsi, A., Piccaluga, A., 1994. A theoretical framework for the evaluation of university-industry relationships. *R&D Management* 24, 229-247. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9310.1994.tb00876.x>
- Bongo, M.F., Alimpangog, K.M.S., Loar, J.F., Montefalcon, J.A., Ocampo, L.A., 2018. An application of DEMATEL-ANP and PROMETHEE II approach for air traffic controllers'

- workload stress problem: A case of Mactan Civil Aviation Authority of the Philippines. *Journal of Air Transport Management* 68, 198-213. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2017.10.001>
- Börjeson, L., Höjer, M., Dreborg, K.H., Ekvall, T., Finnveden, G., 2006. Scenario types and techniques: Towards a user's guide. *Futures* 38, 723-739. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2005.12.002>
- Borman, G.D., Dowling, N.M., 2008. Teacher Attrition and Retention: A Meta-Analytic and Narrative Review of the Research. *Review of Educational Research* 78, 367-409. <https://doi.org/10.3102/0034654308321455>
- Bourell, D.L., Beaman, J.J.J., Leu, M.C., Rosen, D.W., 2009. A Brief History of Additive Manufacturing and the 2009 Roadmap for Additive Manufacturing: Looking Back and Looking Ahead. US – TURKEY Workshop On Rapid Technologies, September 24 – 24, 2009. [https://doi.org/10.1016/S0190-9622\(08\)80898-5](https://doi.org/10.1016/S0190-9622(08)80898-5)
- Bradfield, R., Wright, G., Burt, G., Cairns, G., Van Der Heijden, K., 2005. The origins and evolution of scenario techniques in long range business planning. *Futures* 795–812. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2005.01.003>
- Brady, T., Rush, H., Hobday, M., Davies, A., Probert, D., Banerjee, S., 1997. Tools for technology management: an academic perspective. *Technovation* 17, 417-426. [https://doi.org/10.1016/S0166-4972\(97\)00017-5](https://doi.org/10.1016/S0166-4972(97)00017-5)
- Braglia, M., Carmignani, G., Frosolini, M., Grassi, A., 2006. AHP-based evaluation of CMMS software. *Journal of Manufacturing Technology Management* 17, 585-602. <https://doi.org/10.1108/17410380610668531>
- Brans, J.-P., 1982. L'ingénièrie de la décision; Elaboration d'instruments d'aide à la décision. La méthode PROMETHEE. L'aide à la décision: Nature, Instruments et Perspectives d'Avenir 183-213.
- Brans, J.-P., Brans, Jean-Pierre, 1996. The space of freedom of the decision maker modelling the human brain. *European Journal of Operational Research* 92, 593-602.
- Brans, J.-P., Mareschal, B., Rui Figueira, J., Greco, S., 2005. PROMETHEE METHODS, en: *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys*. pp. 164-189. <https://doi.org/10.1007/0-387-23081-5>
- Brans, J.P., Mareschal, B., 1992. Promethee V: Mcdm Problems With Segmentation Constraints. *INFOR: Information Systems and Operational Research* 30, 85-96. <https://doi.org/10.1080/03155986.1992.11732186>
- Braun, V., Clarke, V., 2006. Using thematic analysis in psychology. *Qualitative Research in Psychology* 3, 77-101. <https://doi.org/10.1191/1478088706qp063oa>
- Bravo Estévez, M. de L., Arrieta Gallastegui, J.J., 2005. El método Delphi. Su implementación

- en una estrategia didáctica para la enseñanza de las demostraciones geométricas. *Revista Iberoamericana de Educación* 36, 1-10. <https://doi.org/10.35362/rie3672962>
- Brockhoff, K., 1999. *Forschung und Entwicklung*. Oldenbourg Wissenschaftsverlag. <https://doi.org/10.1515/9783486700855>
- BRTA [WWW Document], s. f. URL [https://www.brta.eus/index\\_es.html](https://www.brta.eus/index_es.html) (accedido 5.24.20).
- Bruneel, J., D'Este, P., Salter, A., 2010. INVESTIGATING THE FACTORS THAT DIMINISH THE BARRIERS TO UNIVERSITY-INDUSTRY COLLABORATION. *Research Policy* 39, 858-868. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2010.03.006>
- Brunelli, M., Canal, L., Fedrizzi, M., 2013. Inconsistency indices for pairwise comparison matrices: a numerical study. *Ann Oper Res* 211, 493-509. <https://doi.org/10.1007/s10479-013-1329-0>
- Brunelli, M., Fedrizzi, M., 2015. Axiomatic properties of inconsistency indices for pairwise comparisons. *Journal of the Operational Research Society*. <https://doi.org/10.1057/jors.2013.135>
- Bstieler, L., Hemmert, M., Barczak, G., 2015. Trust Formation in University-Industry Collaborations in the U.S. Biotechnology Industry: IP Policies, Shared Governance, and Champions\*,†. *Journal of Product Innovation Management* 32, 111-121. <https://doi.org/10.1111/jpim.12242>
- Bulut, E., Duru, O., Keçeci, T., Yoshida, S., 2012. Use of consistency index, expert prioritization and direct numerical inputs for generic fuzzy-AHP modeling: A process model for shipping asset management, en: *Expert Systems with Applications*. Pergamon, pp. 1911-1923. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.08.056>
- Burgelman, R.A., Christensen, C.M., Wheelwright, S.C., 2001. *Strategic Management of Technology and Innovation*. McGraw-Hill.
- Butcher, J., Jeffrey, P., 2007. A view from the coal face: UK research student perceptions of successful and unsuccessful collaborative projects. *Research Policy* 36, 1239-1250.
- Büyükoçkan, G., Güteryüz, S., 2016. An integrated DEMATEL-ANP approach for renewable energy resources selection in Turkey. *International Journal of Production Economics* 182, 435-448. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2016.09.015>
- Büyükoçkan, G., İfi, G., 2012. A novel hybrid MCDM approach based on fuzzy DEMATEL, fuzzy ANP and fuzzy TOPSIS to evaluate green suppliers. *Expert Systems with Applications* 39, 3000-3011. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.08.162>
- Cabero Almenara, J., Infante, A., 2014. USING THE DELPHI METHOD AND ITS USE IN COMMUNICATION RESEARCH. *EDUTEC. Revista Electrónica de Tecnología Educativa*.
- Caliskan, N., 2006. A DECISION SUPPORT APPROACH FOR THE EVALUATION OF TRANSPORT INVESTMENT ALTERNATIVES. *European Journal of Operational*

Research 175, 1696–1704.

- Caloghirou, Y., Tsakanikas, A., Vonortas, N.S., 2001. University-industry cooperation in the context of the European Framework Programmes. *Journal of Technology Transfer* 26, 153-161. <https://doi.org/10.1023/A:1013025615518>
- Câmara, M.A., Rubio, J.C.C., Abrão, A.M., Davim, J.P., JEDRYCHOWSKI, L., WROBLEWSKA, B., SZYMKIEWICZ, A., 2012. State of the Art on Micromilling of Materials, a Review. *J. Mater. Sci. Technol.* 28, 165-673-685. [https://doi.org/10.1016/S1005-0302\(12\)60115-7](https://doi.org/10.1016/S1005-0302(12)60115-7)
- Camci, A., Temur, G.T., Beskese, A., 2018. CNC router selection for SMEs in woodwork manufacturing using hesitant fuzzy AHP method. *Journal of Enterprise Information Management* 31, 529-549. <https://doi.org/10.1108/JEIM-01-2018-0017>
- Camisón, C., Forés, B., 2014. Capacidad de absorción: antecedentes y resultados. *Economía industrial* 13-22.
- Camisón, C., Forés, B., 2007. Factores antecedentes de la capacidad de absorción de conocimiento: un estudio teórico. *Empresa global y mercados locales: XXI Congreso Anual AEDEM*, Universidad Rey Juan Carlos, Madrid, 6,7 y 8 de junio de 2007 48.
- Camisón, C., Villar-López, A., 2014. Organizational innovation as an enabler of technological innovation capabilities and firm performance. *Journal of Business Research* 67, 2891-2902. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2012.06.004>
- Cantwell, J., Glac, K., Harding, D.R., 2004. The Internationalization of R&D — the Swiss Case, en: *Management International Review*. Gabler Verlag, pp. 57-82. [https://doi.org/10.1007/978-3-322-91001-1\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-322-91001-1_4)
- Carbonell, P., Rodriguez, A.I., 2006. The impact of market characteristics and innovation speed on perceptions of positional advantage and new product performance. *International Journal of Research in Marketing* 23, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.ijresmar.2006.01.002>
- Cardoso, P., Davim, J.P., 2012. Micro milling of metallic materials - A brief overview. *Transactions of Famena* 36, 79-85.
- Cassiman, B., Veugelers, R., 2002. R&D Cooperation and Spillovers: Some Empirical Evidence from Belgium.
- Caterino, N., Iervolino, I., Manfredi, G., Cosenza, E., 2008. A Comparative Analysis of Decision Making Methods for the Seismic Retrofit of RC Buildings. *The 14th World Conference on Earthquake Engineering* 1-8.
- Cayir Ervural, B., Zaim, S., Demirel, O.F., Aydin, Z., Delen, D., 2018. An ANP and fuzzy TOPSIS-based SWOT analysis for Turkey's energy planning. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 82, 1538-1550. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.06.095>
- CDTI, 2012. Hacia el Horizonte 2020 Nuevas estrategias de participación. CDTI 1-22.
- Cebi, S., Kahraman, C., 2010. Developing a group decision support system based on fuzzy

information axiom. Knowledge-Based Systems 23, 3-16.  
<https://doi.org/10.1016/j.knosys.2009.07.005>

CECIMO, 2020. CECIMO ON THE NEW INDUSTRIAL STRATEGY 2030. CECIMO.

CECIMO, 2019. THE EUROPEAN MACHINE TOOL SECTOR AND THE CIRCULAR ECONOMY. CECIMO.

CECIMO, 2017. CECIMO Magazine: New Business Models. CECIMO MAGAZINE.

CECIMO, 2011. Study on COMPETITIVENESS OF THE EUROPEAN MACHINE TOOL INDUSTRY Where manufacturing begins. CECIMO.

CECIMO, CECIMO: Conventional Machines [WWW Document]. URL <https://www.cecimo.eu/machine-tools/subtractive/> (accedido 10.18.20).

Cedefop, 2015. Skills, qualifications and jobs in the EU: the making of a perfect match?, Luxembourg: Publications Office of the European Union.

Cetindamar, D., Phaal, R., Probert, D., 2009. Understanding technology management as a dynamic capability: A framework for technology management activities. *Technovation* 29, 237-246. <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2008.10.004>

Cetindamar, D., Phaal, R., Probert, D.R., 2016. Technology management as a profession and the challenges ahead. *Journal of Engineering and Technology Management - JET-M* 41, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.jengtecman.2016.05.001>

Cetindamar, D., Wasti, S.N., Ansal, H., Beyhan, B., 2009c. Does technology management research diverge or converge in developing and developed countries? *Technovation* 29, 45-58. <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2008.04.002>

Cevik Onar, S., Oztaysi, B., Kahraman, C., 2014. Strategic Decision Selection Using Hesitant fuzzy TOPSIS and Interval Type-2 Fuzzy AHP: A case study. *International Journal of Computational Intelligence Systems* 7, 1002-1021. <https://doi.org/10.1080/18756891.2014.964011>

Chai, J., Liu, J.N.K., Ngai, E.W.T., 2013. Application of decision-making techniques in supplier selection: A systematic review of literature. *Expert Systems with Applications journal* 40, 3872-3885. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2012.12.040>

Chakrabarti, A.K., Santoro, M.D., 2004. Building social capital and learning environment in university-industry relationships, *Int. J. Learning and Intellectual Capital*.

Chan, F.T.S., Kumar, N., Tiwari, M.K., Lau, H.C.W., Choy, K.L., 2008. Global supplier selection: A fuzzy-AHP approach. *International Journal of Production Research* 46, 3825-3857. <https://doi.org/10.1080/00207540600787200>

Chang, C.-H., Chen, Y.-S., Lin, M.-J.J., 2014. Determinants of absorptive capacity: contrasting manufacturing vs services enterprises. *R&D Management* 44, 466-483. <https://doi.org/10.1111/radm.12086>

- Chang, C.W., Wu, C.R., Lin, C.T., Chen, H.C., 2007. An application of AHP and sensitivity analysis for selecting the best slicing machine. *Computers and Industrial Engineering* 52, 296-307. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2006.11.006>
- Chareonsuk, C., Nagarur, N., Tabucanon, M.T., 1997. A multicriteria approach to the selection of preventive maintenance intervals. *International Journal of Production Economics* 49, 55-64. [https://doi.org/10.1016/S0925-5273\(96\)00113-2](https://doi.org/10.1016/S0925-5273(96)00113-2)
- Charnes, A., Cooper, W.W., Lewin, A.Y., Seiford, L.M., Charnes, A., Cooper, W.W., Lewin, A.Y., Seiford, L.M., 1994. *Data Envelopment Analysis: Theory, Methodology, and Applications*, Springer Book Archives. Springer Netherlands. [https://doi.org/10.1007/978-94-011-0637-5\\_1](https://doi.org/10.1007/978-94-011-0637-5_1)
- Charnes, A., Cooper, W.W., Seiford, L., Stutz, J., 1982. A multiplicative model for efficiency analysis. *Socio-Economic Planning Sciences* 16, 223-224. [https://doi.org/10.1016/0038-0121\(82\)90029-5](https://doi.org/10.1016/0038-0121(82)90029-5)
- Chatterjee, P., Mondal, S., Chakraborty, S., 2014. A comprehensive solution to automated inspection device selection problems using electre methods. *International Journal of Technology* 5, 193-208. <https://doi.org/10.14716/ijtech.v5i2.410>
- Chau, O.L., Parkan, C., 1995. Selection of a manufacturing process with multiple attributes: A case study. *Journal of Engineering and Technology Management* 12, 219-237. [https://doi.org/10.1016/0923-4748\(95\)00011-7](https://doi.org/10.1016/0923-4748(95)00011-7)
- Che, Z.H., 2010. Using fuzzy analytic hierarchy process and particle swarm optimisation for balanced and defective supply chain problems considering WEEE/RoHS directives. *International Journal of Production Research* 48, 3355-3381. <https://doi.org/10.1080/00207540802702080>
- Cheever, M.A., Allison, J.P., Ferris, A.S., Finn, O.J., Hastings, B.M., Hecht, T.T., Mellman, I., Prindiville, S.A., Viner, J.L., Weiner, L.M., Matrisian, L.M., 2009. The prioritization of cancer antigens: A National Cancer Institute pilot project for the acceleration of translational research. *Clinical Cancer Research* 15, 5323-5337. <https://doi.org/10.1158/1078-0432.CCR-09-0737>
- Chen, H., Kocaoglu, D.F., 2008. A sensitivity analysis algorithm for hierarchical decision models. *European Journal of Operational Research* 185, 266-288. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2006.12.029>
- Chen, I.S., 2016. A combined MCDM model based on DEMATEL and ANP for the selection of airline service quality improvement criteria: A study based on the Taiwanese airline industry. *Journal of Air Transport Management* 57, 7-18. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2016.07.004>
- Chen, K., Zhang, Y., Zhu, G., Mu, R., 2017. Do research institutes benefit from their network positions in research collaboration networks with industries or/and universities?

- Technovation 1-20. <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2017.10.005>
- Chen, S.-J., Hwang, C.-L., 1992. Fuzzy Multiple Attribute Decision Making Methods. Springer, Berlin, Heidelberg, pp. 289-486. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-46768-4\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-642-46768-4_5)
- Chen, Y., Yu, J., Khan, S., 2013. The spatial framework for weight sensitivity analysis in AHP-based multi-criteria decision making. *Environmental Modelling and Software* 48, 129-140. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2013.06.010>
- Chiesa, V., Coughlan, P., Voss, C.A., 1996. Development of a technical innovation audit. *Journal of Product Innovation Management* 13, 105-136. [https://doi.org/10.1016/0737-6782\(95\)00109-3](https://doi.org/10.1016/0737-6782(95)00109-3)
- Chiesa, V., Manzini, R., 1998. Organizing for technological collaborations: A managerial perspective. *R and D Management*. <https://doi.org/10.1111/1467-9310.00096>
- Chiu, W.Y., Tzeng, G.H., Li, H.L., 2013. A new hybrid MCDM model combining DANP with VIKOR to improve e-store business. *Knowledge-Based Systems* 37, 48-61. <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2012.06.017>
- Cho, J., Lee, J., 2013. Development of a new technology product evaluation model for assessing commercialization opportunities using Delphi method and fuzzy AHP approach. *Expert Systems with Applications* 40, 5314-5330. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2013.03.038>
- Christensen, C.M., 1992. EXPLORING THE LIMITS OF THE TECHNOLOGY S-CURVE. PART I: COMPONENT TECHNOLOGIES\*. *Production and Operations Management Society* 1.
- Çimren, E., Çatay, B., Budak, E., 2007. Development of a machine tool selection system using AHP. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 35, 363-376. <https://doi.org/10.1007/s00170-006-0714-0>
- Clark, B.H., 2011. Managerial identification of competitors: Accuracy and performance consequences. *Journal of Strategic Marketing* 19, 209-227. <https://doi.org/10.1080/0965254X.2011.557740>
- Clausen, T.H., Korneliusen, T., Madsen, E.L., 2013. Modes of innovation, resources and their influence on product innovation: Empirical evidence from R&D active firms in Norway. *Technovation* 33, 225-233. <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2013.02.002>
- Coates, J.F., 1974. Some methods and techniques for comprehensive impact assessment. *Technological Forecasting and Social Change* 6, 341-357. [https://doi.org/10.1016/0040-1625\(74\)90035-3](https://doi.org/10.1016/0040-1625(74)90035-3)
- Cohen, M.A., Eliashberg, J., Ho, T.H., 1996. New product development: The performance and time-to-market tradeoff. *Management Science* 42, 173-186. <https://doi.org/10.1287/mnsc.42.2.173>
- Cohen, W.M., Levinthal, D.A., 1990. Absorptive Capacity: A New Perspective on Learning and

- Innovation. *Administrative Science Quarterly* 35, 128. <https://doi.org/10.2307/2393553>
- Cohen, W.M., Levinthal, D.A., 1989. Innovation and Learning: The Two Faces of R & D. *The Economic Journal* 99, 569. <https://doi.org/10.2307/2233763>
- Cooper, R.G., 1988. Predevelopment activities determine new product success. *Industrial Marketing Management* 17, 237-247. [https://doi.org/10.1016/0019-8501\(88\)90007-7](https://doi.org/10.1016/0019-8501(88)90007-7)
- Cooper, R.G., 1984. New product strategies: What distinguishes the top performers? *Journal of Product Innovation Management* 1, 151–164.
- Cooper, W.W., Seiford, L.M., Tone, K., 2000. *DATA ENVELOPMENT ANALYSIS A Comprehensive Text with Models, Applications, References and DEA-Solver Software*. Kluwer Academic Publishers.
- Cuadrado, J., Zubizarreta, M., Rojí, E., Larrauri, M., Álvarez, I., 2016. Sustainability assessment methodology for industrial buildings: three case studies. *Civil Engineering and Environmental Systems* 33, 106-124. <https://doi.org/10.1080/10286608.2016.1148143>
- Cui, M.X., Fang, C., 2016. A hybrid DEA-ANP method for measuring complexity in engineering projects, en: *IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*. IEEE Computer Society, pp. 1287-1291. <https://doi.org/10.1109/IEEM.2015.7385855>
- Culka, M., 2018. Quantitative scenario design with Bayesian model averaging: constructing consistent scenarios for quantitative models exemplified for energy economics. *Energy, Sustainability and Society* 8. <https://doi.org/10.1186/s13705-018-0162-3>
- Cyert, R.M., Goodman, P.S., 1997. Creating effective University-industry alliances: An organizational learning perspective. *Organizational Dynamics* 25, 45-57. [https://doi.org/10.1016/s0090-2616\(97\)90036-x](https://doi.org/10.1016/s0090-2616(97)90036-x)
- D'Este, P., Guy, F., Iammarino, S., 2013. Shaping the formation of university-industry research collaborations: What type of proximity does really matter? *Journal of Economic Geography* 13, 537-558. <https://doi.org/10.1093/jeg/lbs010>
- D'Este, P., Patel, P., 2007. University-industry linkages in the UK: What are the factors underlying the variety of interactions with industry? *Research Policy* 36, 1295-1313. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2007.05.002>
- D'Este, P., Perkmann, M., 2011. Why do academics engage with industry? The entrepreneurial university and individual motivations. *Journal of Technology Transfer* 36, 316-339.
- Dalkey, N., 1975. *Studies in the quality of life: Delphi and decision-making*, Lexington. ed. Lexington Books.
- Dalkey, N., 1969. An experimental study of group opinion: The Delphi method. *Futures* 1, 408-426. [https://doi.org/10.1016/S0016-3287\(69\)80025-X](https://doi.org/10.1016/S0016-3287(69)80025-X)
- Dalkey, N., Helmer, O., 1963. An experimental application of the Delphi method to the use of



- experts. *Management Science* 9, 458-467.
- Dalkey, N.C., 1972. *Studies in the quality of life : Delphi and decision-making*, Lexington Books.
- Davoudpour, H., Rezaee, S., Ashrafi, M., 2012. Developing a framework for renewable technology portfolio selection: A case study at a R&D center. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.03.035>
- de Jong, J.P.J., Freel, M., 2010. Absorptive capacity and the reach of collaboration in high technology small firms. *Research Policy* 39, 47-54. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2009.10.003>
- de la Fuente, A., Blanco, A., Armengou, J., Aguado, A., 2017. Sustainability based-approach to determine the concrete type and reinforcement configuration of TBM tunnels linings. Case study: Extension line to Barcelona Airport T1. *Tunnelling and Underground Space Technology* 61, 179-188. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2016.10.008>
- De La Fuente, A., Pons, O., Josa, A., Aguado, A., 2016. Multi-criteria decision making in the sustainability assessment of sewerage pipe systems. *Journal of Cleaner Production* 112, 4762-4770. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.07.002>
- Dedasht, G., Zin, R.M., Ferwati, M.S., Abdullahi, M.M., Keyvanfar, A., McCaffer, R., 2017. DEMATEL-ANP risk assessment in oil and gas construction projects. *Sustainability (Switzerland)* 9. <https://doi.org/10.3390/su9081420>
- Del Giudice, M., Scuotto, V., Garcia-Perez, A., Messeni Petruzzelli, A., 2019. Shifting Wealth II in Chinese economy. The effect of the horizontal technology spillover for SMEs for international growth. *Technological Forecasting and Social Change* 145, 307-316. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2018.03.013>
- Delbecq, A., Ven, A., Gustafson, D., 1986. *Group Techniques for Program Planning: A Guide to Nominal Group and Delphi Processes*. Glenview, Illinois: Scott Forman and Co.
- Demirović, D., Cimbaljević, M., Radosavac, A., 2018. Universities-industry partnership and the development of the third mission of universities. *Megatrend revija* 15, 195-212. <https://doi.org/10.5937/megrev1802195d>
- Departamento de Desarrollo Economico e Infraestructuras, 2017. *Plan de Industrialización 2017-2020 "Basque Industry 4.0"*. Viceconsejería de Industria. Gobierno Vasco.
- Deshpande, A., 2018. Relationships between advanced manufacturing technologies, absorptive capacity, mass customization, time to market and financial and market performance: An empirical investigation. *Asia-Pacific Journal of Business Administration* 10, 2-20. <https://doi.org/10.1108/APJBA-03-2017-0024>
- Dess, G.G., Shaw, J.D., 2001. Voluntary Turnover, Social Capital, and Organizational Performance. *The Academy of Management Review* 26, 446. <https://doi.org/10.2307/259187>

- Dhanorker, A., Özel, T., 2008. Meso/micro scale milling for micro-manufacturing. *International Journal of Mechatronics and Manufacturing Systems* 1, 23-42. <https://doi.org/10.1504/IJMMS.2008.018273>
- Dhavale, D.G., 1995. Justifying manufacturing cells. *Manufacturing Engineering* 115.
- Diaz-Sarachaga, J.M., Jato-Espino, D., Castro-Fresno, D., 2017. Application of the Sustainable Infrastructure Rating System for Developing Countries (SIRSDEC) to a case study. *Environmental Science and Policy* 69, 73-80. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2016.12.011>
- Dickinson, M.W., Thornton, A.C., Graves, S., 2001. Technology portfolio management: Optimizing interdependent projects over multiple time periods. *IEEE Transactions on Engineering Management* 48, 518-527. <https://doi.org/10.1109/17.969428>
- Diffenbach, J., 1981. A compatibility approach to scenario evaluation. *Technological Forecasting and Social Change* 19, 161-174. [https://doi.org/10.1016/0040-1625\(81\)90013-5](https://doi.org/10.1016/0040-1625(81)90013-5)
- Dill, D.D., 1990. University/Industry research collaborations: an analysis of interorganizational relationships. *R&D Management* 20, 123-129. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9310.1990.tb00690.x>
- Dodabalapur, A., Arias, A.C., Frisbie, C.D., Marks, T.J., 2008. Additive/Subtractive Manufacturing Research and Development in Europe. World Technology Evaluation Center, Inc. 2809 Boston Street, Suite 441 Baltimore, Maryland 21224.
- Dodgson, M., Gann, D., Salter, A., 2008. *The Management of Technological Innovation Strategy and Practice*. Oxford University Press 1-4.
- Dong, Q., Cooper, O., 2016. A peer-to-peer dynamic adaptive consensus reaching model for the group AHP decision making. *European Journal of Operational Research* 250, 521-530. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2015.09.016>
- Dooley, L., Kirk, D., 2007. University-industry collaboration: Grafting the entrepreneurial paradigm onto academic structures. *European Journal of Innovation Management* 10, 316-332. <https://doi.org/10.1108/14601060710776734>
- Drejer, I., Østergaard, C.R., 2017. Exploring determinants of firms' collaboration with specific universities: employee-driven relations and geographical proximity. *Regional Studies* 51, 1192-1205. <https://doi.org/10.1080/00343404.2017.1281389>
- Duchek, S., 2013. Capturing absorptive Capacity: a Critical review and Future prospects 312-329.
- Duncan, E.A.S., Nicol, M.M., Ager, A., 2004. Factors that constitute a good cognitive behavioural treatment manual: A Delphi study. *Behavioural and Cognitive Psychotherapy* 32, 199-213. <https://doi.org/10.1017/S135246580400116X>
- Duru, O., Bulut, E., Yoshida, S., 2012. Regime switching fuzzy AHP model for choice-varying

- priorities problem and expert consistency prioritization: A cubic fuzzy-priority matrix design. *Expert Systems with Applications* 39, 4954-4964. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.10.020>
- Dutrénit, G., de Fuentes, C., Torres, A., Dutrenit, G., de Fuentes, C., Torres, A., 2010. Channels of interaction between public research organisations and industry and their benefits: Evidence from Mexico. *Science and Public Policy* 37, 513-526. <https://doi.org/10.3152/030234210X512025>
- EARTO, s. f. RESEARCH AND TECHNOLOGY ORGANISATIONS IN THE EVOLVING EUROPEAN RESEARCH AREA-A STATUS REPORT WITH POLICY RECOMMENDATIONS [WWW Document]. RESEARCH AND TECHNOLOGY ORGANISATIONS IN THE EVOLVING EUROPEAN RESEARCH AREA - A STATUS REPORT WITH POLICY RECOMMENDATIONS - European. URL [www.earto.org](http://www.earto.org) (accedido 5.14.20).
- Ebrahimnejad, S., Mousavi, S.M., Tavakkoli-Moghaddam, R., Hashemi, H., Vahdani, B., 2012. A novel two-phase group decision making approach for construction project selection in a fuzzy environment. *Applied Mathematical Modelling* 36, 4197-4217. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2011.11.050>
- EC, 2010. EU Manufacturing Industry: What are the Challenges and Opportunities for the Coming Years? European Commission.
- Ehrismann, D., Patel, D.D., 2015. University - Industry collaborations: Models, drivers and cultures. *Swiss Medical Weekly* 145, 1-6. <https://doi.org/10.4414/smw.2015.14086>
- Eilat, H., Golany, B., Shtub, A., 2008. R&D project evaluation: An integrated DEA and balanced scorecard approach. *Omega* 36, 895-912. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2006.05.002>
- Emrouznejad, A., Marra, M., 2017. The state of the art development of AHP (1979–2017): A literature review with a social network analysis. *International Journal of Production Research* 55, 6653-6675. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1334976>
- Ernst, H., 2003. Patent information for strategic technology management. *World Patent Information* 25, 233-242. [https://doi.org/10.1016/S0172-2190\(03\)00077-2](https://doi.org/10.1016/S0172-2190(03)00077-2)
- Ernst, H., Legler, S., Lichtenthaler, U., 2010. Determinants of patent value: Insights from a simulation analysis. *Technological Forecasting and Social Change* 77, 1-19. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2009.06.009>
- Ertay, T., Ruan, D., Tuzkaya, U.R., 2006. Integrating data envelopment analysis and analytic hierarchy for the facility layout design in manufacturing systems. *Information Sciences* 176, 237-262. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2004.12.001>
- Ertugrul, İ., Karakasoglu, N., 2010. Computer Selection For A Company With Electre And Fuzzy AHP Methods. *Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi İdari Bilimler Fakültesi Dergisi* 25, 23-41.

- Escribano, A., Fosfuri, A., Tribó, J.A., 2009. Managing external knowledge flows: The moderating role of absorptive capacity. *Research Policy* 38, 96-105. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2008.10.022>
- Etzkowitz, H., Leydesdorff, L., 1995. The Triple Helix -- University-Industry-Government Relations: A Laboratory for Knowledge Based Economic Development. *EASST Review* 14, 14-19.
- Etzkowitz, H., Webster, A., Healey, P., 1998. Capitalizing knowledge: new intersections of industry and academia. State University of New York Press.
- European Commission, 2010. FACTORIES OF THE FUTURE PPP STRATEGIC MULTI-ANNUAL ROADMAP.
- EUSKADI-RIS3, 2014. ESTRATEGIA EUSKADI 2020.
- EUSTAT, 2020. Panorama de la Industria Vasca 2020. Panorama de la Industria Vasca 2020.
- Evans, L., Lohse, N., Summers, M., 2013. A fuzzy-decision-tree approach for manufacturing technology selection exploiting experience-based information. *Expert Systems with Applications* 40, 6412-6426. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2013.05.047>
- Executive Office of the Council, N.S. and T., 2012. A National Strategic Plan for Advanced Manufacturing 51.
- Fabry, B., Ernst, H., Langholz, J., Köster, M., 2006. Patent portfolio analysis as a useful tool for identifying R&D and business opportunities-an empirical application in the nutrition and health industry. *World Patent Information* 28, 215-225. <https://doi.org/10.1016/j.wpi.2005.10.004>
- Falatoonitoosi, E., Leman, Z., Sorooshian, S., Salimi, M., 2013. Decision-making trial and evaluation laboratory. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology* 5, 3476-3480. <https://doi.org/10.19026/rjaset.5.4475>
- Färber, M., 2016. Using a semantic wiki for technology forecast and technology monitoring. *Program: electronic library and information systems* 50, 225-242. <https://doi.org/10.1108/PROG-06-2015-0043>
- Farooq, S., O'Brien, C., 2015. An action research methodology for manufacturing technology selection: a supply chain perspective. *Production Planning & Control* 26, 467-488. <https://doi.org/10.1080/09537287.2014.924599>
- Farooq, S., O'Brien, C., 2010. Risk calculations in the manufacturing technology selection process. *Journal of Manufacturing Technology Management* 21, 28-49. <https://doi.org/10.1108/17410381011011470>
- Fazli, S., Kiani Mavi, R., Vosooghizaji, M., 2015. Crude oil supply chain risk management with DEMATEL-ANP. *Operational Research* 15, 453-480. <https://doi.org/10.1007/s12351-015-0182-0>

- Felipe, J., Mehta, A., Rhee, C., 2014. MANUFACTURING MATTERS... BUT IT'S THE JOBS THAT COUNT.
- Feller, I., Ailes, C.P., Roessner, J.D., 2002. Impacts of research universities on technological innovation in industry: Evidence from engineering research centers. *Research Policy* 31, 457-474. [https://doi.org/10.1016/S0048-7333\(01\)00119-6](https://doi.org/10.1016/S0048-7333(01)00119-6)
- Fernández-Castro, A.S., Jiménez, M., 2005. PROMETHEE: An extension through fuzzy mathematical programming. *Journal of the Operational Research Society* 56, 119-122. <https://doi.org/10.1057/palgrave.jors.2601828>
- Ferrari, P., 2003. A method for choosing from among alternative transportation projects, en: *European Journal of Operational Research*. North-Holland, pp. 194-203. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(02\)00463-0](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(02)00463-0)
- Fisher, J.C., Pry, R.H., 1971. A Simple Substitution Model of Technological Change. *Technological Forecasting & Social Change* 3, 221-75-88. <https://doi.org/10.1007/s10909-016-1663-0>
- Flatten, T.C., Greve, G.I., Brettel, M., 2011. Absorptive capacity and firm performance in SMEs: The mediating influence of strategic alliances. *European Management Review* 8, 137-152. <https://doi.org/10.1111/j.1740-4762.2011.01015.x>
- Fleming, L., 2001. Recombinant Uncertainty in Technological Search.
- Fleming, L., Mingo, S., Chen, D., 2007. Collaborative Brokerage, Generative Creativity, and Creative Success, *Administrative Science Quarterly*.
- Flor, M.L., Oltra, M.J., García, C., 2011. Del Conocimiento Externo Y La Estrategia Empresarial : *Revista Europea de Dirección y Economía de la Empresa* 20, 69-87.
- FoF, 2012. Factories of the Future Strategic Multi-Annual Roadmap FACTORIES OF THE FUTURE 2020 Factories of the Future 2020. FoF SRA.
- Foss, N.J., Pedersen, T., 2004. Organizing knowledge processes in the multinational corporation: An introduction. *Journal of International Business Studies* 35, 340-349. <https://doi.org/10.1057/palgrave.jibs.8400102>
- Fritsch, M., 2017. The theory of economic development – An inquiry into profits, capital, credit, interest, and the business cycle. *Regional Studies* 51, 654-655. <https://doi.org/10.1080/00343404.2017.1278975>
- Frølund, L., Murray, F., Riedel, M., 2018. Developing successful strategic partnerships with universities. *MIT Sloan Management Review* 59, 71-79.
- Fung, R.Y.K., Popplewell, K., Xie, J., 1998. An intelligent hybrid system for customer requirements analysis and product attribute targets determination, *int. j. prod. res.*
- Gabus, A., Fontela, E., 1972. *World Problems, An Invitation to Further Thought within the Framework of DEMATEL*. Battelle Geneva Research Centre.

- Galanc, T., Mikuš, J., 1986. The choice of an optimum group of experts. *Technological Forecasting and Social Change* 30, 245-250. [https://doi.org/10.1016/0040-1625\(86\)90045-4](https://doi.org/10.1016/0040-1625(86)90045-4)
- Gámez-Pérez, K.M., Sarmiento, A.M., Garcia-Reyes, H., Velázquez-Martínez, J.C., 2020. An international university-industry collaboration model to develop supply chain competences. *Supply Chain Management*. <https://doi.org/10.1108/SCM-08-2019-0317>
- García-Valderrama, T., Mulero-Mendigorri, E., Revuelta-Bordoy, D., 2009. Relating the perspectives of the balanced scorecard for R&D by means of DEA. *European Journal of Operational Research* 196, 1177-1189. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2008.05.015>
- Garrigós, A., ; Rincón Díaz, J., Igartua López, C.A., EARTO, 2014. Research technology organisations as leaders of R&D collaboration with SMEs: role, barriers and facilitators. *Technology Analysis and Strategic Management* 26, 37-53. <https://doi.org/10.1080/09537325.2013.850159>
- Gartner, 2020. Gartner Identifies Five Emerging Trends That Will Drive Technology Innovation for the Next Decade [WWW Document]. URL <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2020-08-18-gartner-identifies-five-emerging-trends-that-will-drive-technology-innovation-for-the-next-decade> (accedido 10.12.20).
- Gartner, s. f. Hype Cycle Research Methodology [WWW Document]. <https://www.gartner.com/en/research/methodologies/gartner-hype-cycle>. URL <https://www.gartner.com/en/research/methodologies/gartner-hype-cycle> (accedido 10.12.20).
- Garuti, C., Sandoval, M., 2004. COMPARING AHP AND ANP SHIFTWORK MODELS: HIERARCHY SIMPLICITY V/S NETWORK CONNECTIVITY, en: MCDM 2004. Whistler, B. C. Canada.
- Garzón, M.A., 2015. Modelo de capacidades dinámicas. *Revista Dimensión Empresarial* 13, 11. <https://doi.org/10.15665/rde.v13i1.341>
- Gasser, A., Backes, G., Kelbassa, I., Weisheit, A., Wissenbach, K., 2010. Laser Additive Manufacturing: Laser Metal Deposition (LMD) and Selective Laser Melting (SLM) in Turbo-Engine Applications. *Laser Technik Journal* 7, 58-63. <https://doi.org/10.1002/latj.201090029>
- Geisler, E., 2002. The metrics of technology evaluation: Where we stand and where we should go from here. *International Journal of Technology Management* 24, 341-374. <https://doi.org/10.1504/IJTM.2002.003060>
- George, G., Zahra, S.A., Wood, D.R., 2002. The effects of business-university alliances on innovative output and financial performance: A study of publicly traded biotechnology companies. *Journal of Business Venturing* 17, 577-609. <https://doi.org/10.1016/S0883->

- Gerd Sri, N., Vatananan, R.S., 2007. Dynamics of Technology Roadmapping (TRM) implementation, en: Portland International Conference on Management of Engineering and Technology. pp. 1577-1583. <https://doi.org/10.1109/PICMET.2007.4349482>
- Gerken, J.M., Moehrl, M.G., 2012. A new instrument for technology monitoring: Novelty in patents measured by semantic patent analysis. *Scientometrics* 91, 645-670. <https://doi.org/10.1007/s11192-012-0635-7>
- Ghaleb, A.M., Kaid, H., Alsamhan, A., Mian, S.H., Hidri, L., 2020. Assessment and Comparison of Various MCDM Approaches in the Selection of Manufacturing Process. *Advances in Materials Science and Engineering* 2020. <https://doi.org/10.1155/2020/4039253>
- Ghani, E., Goswami, A.G., Homi, K., 2011. Can services be the next growth escalator? [WWW Document]. VoxEU. URL <https://voxeu.org/article/can-services-be-next-growth-escalator> (accedido 5.23.20).
- Giannopoulou, E., 2016. The role of Research and Technology Organizations (RTOs) in open service innovation : a dual perspective. Université de Strasbourg.
- Gindy, N., Morcos, M., Cerit, B., Hodgson, A., 2008. Strategic technology alignment roadmapping STAR® aligning R&D investments with business needs. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing* 21, 957-970. <https://doi.org/10.1080/09511920801927148>
- Giuliani, E., Arza, V., 2009. What drives the formation of «valuable» university-industry linkages?. Insights from the wine industry. *Research Policy* 38, 906-921. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2009.02.006>
- Godet, M., 2000. *The Art of Scenarios and Strategic Planning: Tools and Pitfalls*.
- Gökhan Yücel, M., Görener, A., 2016. Decision Making for Company Acquisition by ELECTRE Method. *International Journal of Supply Chain Management* 5, 75-83.
- Gold, A.H., Malhotra, A., Segars, A.H., 2001. Knowledge management: An organizational capabilities perspective, *Journal of Management Information Systems*; Summer.
- González-Campo, C.H., Ayala, A.H., 2014. Influence of absorption capacity on innovation: An empirical analysis in Colombian SMES. *Estudios Gerenciales* 30, 277-286. <https://doi.org/10.1016/j.estger.2014.02.015>
- Gordon, T.J., 1994. CROSS-IMPACT METHOD. American Council for the United Nations University.
- Gordon, T.J., Glenn, J., 2017. Interactive scenarios, en: *Innovative Research Methodologies in Management: Volume II: Futures, Biometrics and Neuroscience Research*. Springer International Publishing, pp. 31-61. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-64400-4\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-319-64400-4_2)
- Gouvea Da Costa, S.E., Platts, K.W., Fleury, A., 2006. Strategic selection of advanced

- manufacturing technologies (AMT), based on the manufacturing vision. *International Journal of Computer Applications in Technology* 27, 12-23. <https://doi.org/10.1504/IJCAT.2006.010985>
- Govindaraju, R., Akbar, M.I., Gondodiwiry, L., Simatupang, T., 2015. The application of a decision-making approach based on fuzzy ANP and TOPSIS for selecting a strategic supplier. *Journal of Engineering and Technological Sciences* 47, 406-425. <https://doi.org/10.5614/j.eng.technol.sci.2015.47.4.5>
- Grant, R.M., 1996. Prospering in Dynamically-competitive Environments: Organizational Capability as Knowledge Integration. *Organization Science* 7, 375-387. <https://doi.org/10.1287/orsc.7.4.375>
- Gray, B., 1985. Conditions Facilitating Interorganizational Collaboration. *Human Relations* 38, 911-936. <https://doi.org/10.1177/001872678503801001>
- Gray, B., Wood, D.J., 1991. Collaborative Alliances: Moving From PRactice to Theory. *The Journal of Applied Behavioral Science* 27, 139-162. <https://doi.org/10.1177/0021886391272001>
- Gregory, M.J., 1995. Technology management: a process approach. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture* 209, 347-356. [https://doi.org/10.1243/pime\\_proc\\_1995\\_209\\_094\\_02](https://doi.org/10.1243/pime_proc_1995_209_094_02)
- Grimaldi, M., Cricelli, L., Giovanni, M. Di, Rogo, F., 2015. The patent portfolio value analysis: A new framework to leverage patent information for strategic technology planning. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2014.10.013>
- Grimaldi, R., Kenney, M., Siegel, D.S., Wright, M., 2011. 30 years after Bayh-Dole: Reassessing academic entrepreneurship. *Research Policy* 40, 1045-1057. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2011.04.005>
- Grimpe, C., Sofka, W., 2009. Search patterns and absorptive capacity: Low- and high-technology sectors in European countries. *Research Policy* 38, 495-506. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2008.10.006>
- Groenveld, P., 1997. Roadmapping integrates business and technology. *Research Technology Management*. <https://doi.org/10.1080/08956308.1997.11671157>
- Grzybowski, A.Z., 2016. New results on inconsistency indices and their relationship with the quality of priority vector estimation. *Expert Systems with Applications* 43, 197-212. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2015.08.049>
- Guan, J.C., Yam, R.C.M., Tang, E.P.Y., Lau, A.K.W., 2009. Innovation strategy and performance during economic transition: Evidences in Beijing, China. *Research Policy* 38, 802-812. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2008.12.009>
- Gudanowska, A.E., 2017. Modern Research Trends within Technology Management in the



- Light of Selected Publications. *Procedia Engineering* 182, 247-254. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.03.185>
- Guerzoni, M., Taylor Aldridge, T., Audretsch, D.B., Desai, S., 2017. A new industry creation and originality: Insight from the funding sources of university patents. *Universities and the Entrepreneurial Ecosystem* 43, 199-208. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2014.07.009>
- GV-EJ, 2014. *Estrategia de Fabricación Avanzada 2020*.
- Hafezi, R., Akhavan, A.N., Pakseresht, S., Wood, D.A., 2019. A Layered Uncertainties Scenario Synthesizing (LUSS) model applied to evaluate multiple potential long-run outcomes for Iran's natural gas exports. *Energy* 169, 646-659. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.12.093>
- Hagen, R., 2002. Globalization, university transformation and economic regeneration: A UK case study of public/private sector partnership. *International Journal of Public Sector Management* 15, 204-218. <https://doi.org/10.1108/09513550210423370>
- Halicka, K., 2016. Innovative classification of methods of the Future-oriented Technology Analysis. *Technological and Economic Development of Economy* 22, 574-597. <https://doi.org/10.3846/20294913.2016.1197164>
- Hall, B.H., Link, A.N., Scott, J.T., 2001. Barriers inhibiting industry from partnering with universities: Evidence from the Advanced Technology Program. *Journal of Technology Transfer* 26, 87-98. <https://doi.org/10.1023/A:1007888312792>
- Hamel, G., Breen, W.B., 2007. *The Future of Management*. Harvard Business School Publishing.
- Hamrin, J., Hummel, H., Canapa, R., 2007. *Review of Renewable Energy in Global Scenarios*.
- Handfield, R., Walton, S. V., Sroufe, R., Melnyk, S.A., 2002. Applying environmental criteria to supplier assessment: A study in the application of the Analytical Hierarchy Process. *European Journal of Operational Research* 141, 70-87. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(01\)00261-2](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(01)00261-2)
- Harman, G., Sherwell, V., 2002. Risks in University-Industry Research Links and the Implications for University Management. *Journal of Higher Education Policy and Management* 24, 37-51. <https://doi.org/10.1080/13600800220130752>
- Hartmann, M.H., 1999. Theory and practice of technological corporate assessment. *International Journal of Technology Management* 17, 504-521. <https://doi.org/10.1504/IJTM.1999.002730>
- Hashemkhani Zolfani, S., Bahrami, M., 2014. Investment prioritizing in high tech industries based on SWARA-COPRAS approach. *Technological and Economic Development of Economy* 20, 534-553. <https://doi.org/10.3846/20294913.2014.881435>
- Héder, M., 2017. From NASA to EU: the evolution of the TRL scale in Public Sector Innovation,

The Innovation Journal: The Public Sector Innovation Journal.

- Heisig, J.P., Gesthuizen, M., Solga, H., 2019. Lack of skills or formal qualifications? New evidence on cross-country differences in the labor market disadvantage of less-educated adults. *Social Science Research* 83. <https://doi.org/10.1016/j.ssresearch.2019.06.005>
- Helmer, O., 1966. *The Delphi Method for Systematizing Judgments about the Future*, Institute of Government and Public Affairs, University of California.
- Henderson, R.M., Clark, K.B., 1990. Architectural Innovation: The Reconfiguration of Existing Product Technologies and the Failure of Established Firms, *Source: Administrative Science Quarterly*.
- Hervas-Oliver, J.L., Gonzalez-Alcaide, G., Rojas-Alvarado, R., Monto-Mompo, S., 2020. Emerging regional innovation policies for industry 4.0: analyzing the digital innovation hub program in European regions. *Competitiveness Review*. <https://doi.org/10.1108/CR-12-2019-0159>
- Holmes, C., Ferrill, M., 2005. The application of Operation and Technology Roadmapping to aid Singaporean SMEs identify and select emerging technologies. *Technological Forecasting and Social Change* 72, 349-357. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2004.08.010>
- Hong, W., Su, Y.S., 2013. The effect of institutional proximity in non-local university-industry collaborations: An analysis based on Chinese patent data. *Research Policy* 42, 454-464. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2012.05.012>
- Hosseini, S.M.A., Pons, O., de la Fuente, A., 2018. A combination of the Knapsack algorithm and MIVES for choosing optimal temporary housing site locations: A case study in Tehran. *International Journal of Disaster Risk Reduction* 27, 265-277. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2017.10.013>
- Howells, J., Nedeva, M., 2003. The international dimension to industry-academic links. *International Journal of Technology Management* 25, 5-17. <https://doi.org/10.1504/IJTM.2003.003086>
- Huang, C.C., Chu, P.Y., Chiang, Y.H., 2008. A fuzzy AHP application in government-sponsored R&D project selection. *Omega* 36, 1038-1052. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2006.05.003>
- Huang, S.M., Chang, I.C., Li, S.H., Lin, M.T., 2004. Assessing risk in ERP projects: Identify and prioritize the factors. *Industrial Management and Data Systems* 104, 681-688. <https://doi.org/10.1108/02635570410561672>
- Hurtado-Ayala, A., Gonzalez-Campo, C.H., 2015. Measurement of knowledge absorptive capacity: An estimated indicator for the manufacturing and service sector in Colombia. *Journal Globalization, Competitiveness and Governability* 9, 16-42. <https://doi.org/10.3232/GCG.2015.V9.N2.01>

- Hwang, C.-L., Yoon, K., 1981. Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications A State-of-the -Art Survey, Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-48318-9>
- Ic, Y.T., Yurdakul, M., Eraslan, E., 2012. Development of a component-based machining centre selection model using AHP. *International Journal of Production Research* 50, 6489-6498. <https://doi.org/10.1080/00207543.2011.653011>
- Im, S., Workman Jr., J.P., 2004. Market Orientation, Creativity, and New Product Performance in High-Technology Firms. *Journal of Marketing* 68, 114-132.
- Indarti, N., Wahid, F., 2013. How do Indonesian industries perceive university-industry collaboration? Motivations, benefits and problems. *International Journal of Technology Transfer and Commercialisation* 12, 157. <https://doi.org/10.1504/ijttc.2013.064169>
- ISO, 2013. ISO 16290:2013 — Definition of the Technology Readiness Levels (TRLs) and their criteria of assessment [WWW Document]. URL <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:16290:ed-1:v1:en> (accedido 7.31.20).
- Ivascu, L., Cirjaliu, B., Draghici, A., 2016. Business Model for the University-industry Collaboration in Open Innovation. *Procedia Economics and Finance* 39, 674-678. [https://doi.org/10.1016/s2212-5671\(16\)30288-x](https://doi.org/10.1016/s2212-5671(16)30288-x)
- Jacob, M., Hellström, T., Adler, N., Norrgren, F., 2000. From sponsorship to partnership in academy-industry relations. *R&D Management* 30, 255-262. <https://doi.org/10.1111/1467-9310.00176>
- Jaganathan, S., Erinjeri, J.J., Ker, J., 2007. Fuzzy analytic hierarchy process based group decision support system to select and evaluate new manufacturing technologies. *Int J. Adv. Manuf. Technol.* 32, 1253–1262. <https://doi.org/10.1007/s00170-006-0446-1>
- Jain, K., Siddiquee, Q., Singal, V., 2010. Measurement of Innovativeness in an Organisation using AHP, en: PICMET 2010 TECHNOLOGY MANAGEMENT FOR GLOBAL ECONOMIC GROWTH.
- Jansen, J.J.P., Van Den Bosch, F.A.J., Volberda, H.W., 2005. Managing potential and realized absorptive capacity: How do organizational antecedents matter? *Academy of Management Journal* 48, 999-1015. <https://doi.org/10.5465/AMJ.2005.19573106>
- Jato-Espino, D., Rodriguez-Hernandez, J., Andrés-Valeri, V.C., Ballester-Muñoz, F., 2014. A fuzzy stochastic multi-criteria model for the selection of urban pervious pavements. *Expert Systems with Applications* 41, 6807-6817. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2014.05.008>
- Jiménez-Barrionuevo, M.M., García-Morales, V.J., Molina, L.M., 2011. Validation of an instrument to measure absorptive capacity. *Technovation* 31, 190-202. <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2010.12.002>

- Jin, J., Rothrock, L., McDermott, P.L., Barnes, M., 2010. Using the analytic hierarchy process to examine judgment consistency in a complex multiattribute task. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics Part A: Systems and Humans* 40, 1105-1115. <https://doi.org/10.1109/TSMCA.2010.2045119>
- Johannessen, J.A., Olsen, B., 2010. The future of value creation and innovations: Aspects of a theory of value creation and innovation in a global knowledge economy. *International Journal of Information Management* 30, 502-511. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2010.03.007>
- Jungk, R., Müllert, N., Institute for Social Inventions (Great Britain), 1996. *Future workshops : how to create desirable futures*. Institute for Social Inventions.
- Kafouros, M., Love, J.H., Ganotakis, P., Konara, P., 2020. Experience in R&D collaborations, innovative performance and the moderating effect of different dimensions of absorptive capacity. *Technological Forecasting and Social Change* 150, 119757. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2019.119757>
- Kaldor, N., 1967. *Strategic Factors in Economic Development*. Ithaca, NY: New York State School of Industrial and Labor Relations, Cornell University.
- Kalogeras, N., Baourakis, G., Zopounidis, C., Van Dijk, G., 2005. Evaluating the financial performance of agri-food firms: A multicriteria decision-aid approach. Article in *Journal of Food Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.01.039>
- Kamp, B., Ochoa, A., Diaz, J., 2017. Smart servitization within the context of industrial user–supplier relationships: contingencies according to a machine tool manufacturer. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing* 11, 651-663. <https://doi.org/10.1007/s12008-016-0345-0>
- Kang, J., Lee, J., Jang, D., Park, S., 2019. A Methodology of Partner Selection for Sustainable Industry-University Cooperation Based on LDA Topic Model. *Sustainability* 11, 3478. <https://doi.org/10.3390/su11123478>
- Kaplan, R.S., Norton, D.P., 1996. *The Balanced Scorecard: Translating Strategy into Action*. Harvard Business School.
- Karlsson, J., Booth, S., Odenrick, P., 2007. Academics' strategies and obstacles in achieving collaboration between Universities and SMEs. *Tertiary Education and Management* 13, 187-201. <https://doi.org/10.1080/13583880701502141>
- Kaupilla, O., Mursula, A., Harkonen, J., Kujala, J., 2015. Evaluating university-industry collaboration: the European Foundation of Quality Management excellence model-based evaluation of university-industry collaboration. <https://doi.org/10.1080/13583883.2015.1045550>
- Kaya, I., Kahraman, C., 2014. A comparison of fuzzy multicriteria decision making methods for intelligent building assessment. *Journal of Civil Engineering and Management* 20, 59-69.

<https://doi.org/10.3846/13923730.2013.801906>

- Kennedy, H.P., 2004. Enhancing Delphi research: Methods and results. *Journal of Advanced Nursing* 45, 504-511. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2648.2003.02933.x>
- Keršulienė, V., Zavadskas, E.K., Turskis, Z., 2010. Selection of Rational Dispute Resolution Method by Applying New Step-Wise Weight Assessment Ratio Analysis (Swara). *Journal of Business Economics and Management* 11, 243-258. <https://doi.org/10.3846/Jbem.2010.12>
- Khan, K., Varghese, A., Dixit, P., Joshi, S.S., 2019. Effect of tool path complexity on top burrs in micromilling. *Procedia Manufacturing* 34, 432-439. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.06.188>
- Khouja, M., 1995. The use of data envelopment analysis for technology selection. *Computers & Industrial Engineering* 28, 123-132. [https://doi.org/10.1016/0360-8352\(94\)00032-I](https://doi.org/10.1016/0360-8352(94)00032-I)
- Kiani Mavi, R., Standing, C., 2018. Critical success factors of sustainable project management in construction: A fuzzy DEMATEL-ANP approach. *Journal of Cleaner Production* 194, 751-765. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.05.120>
- Kim, Y., Chung, E.S., 2013. Fuzzy VIKOR approach for assessing the vulnerability of the water supply to climate change and variability in South Korea. *Applied Mathematical Modelling* 37, 9419-9430. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2013.04.040>
- Kitchenham, B., 2004. *Procedures for Performing Systematic Reviews*.
- Kleindorfer, P.R., Partovi, F.Y., 1990. Integrating manufacturing strategy and technology choice. *European Journal of Operational Research* 47, 214-224. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(90\)90280-O](https://doi.org/10.1016/0377-2217(90)90280-O)
- Klimczak, K., Machowiak, W., Staniec, I., Shachmurove, Y., 2017. Collaboration and collaboration risk in small and middle-size technological enterprises. *LogForum* 13, 221-235. <https://doi.org/10.17270/J.LOG.2017.2.9>
- Klofsten, M., Jones-Evans, D., 1996. Stimulation of technology-based small firms - A case study of university-industry cooperation. *Technovation* 16, 187-193. [https://doi.org/10.1016/0166-4972\(95\)00052-6](https://doi.org/10.1016/0166-4972(95)00052-6)
- Kocoaglu, D., Williamson, K., Saberiyan, A., Olive, L., 2001. Technology selection in Brownfields redevelopment, en: *PICMET*. pp. 650-658. <https://doi.org/10.1109/picmet.2001.952413>
- Koczkodaj, W.W., 1993. A new definition of consistency of pairwise comparisons. *Mathematical and Computer Modelling* 18, 79-84. [https://doi.org/10.1016/0895-7177\(93\)90059-8](https://doi.org/10.1016/0895-7177(93)90059-8)
- Kolios, A., Mytilinou, V., Lozano-Minguez, E., Salonitis, K., 2016. A comparative study of multiple-criteria decision-making methods under stochastic inputs. *Energies* 9, 1-21. <https://doi.org/10.3390/en9070566>

- Kostoff, R.N., Boylan, R., Simons, G.R., 2004. Disruptive technology roadmaps. *Technological Forecasting and Social Change* 71, 141-159. [https://doi.org/10.1016/S0040-1625\(03\)00048-9](https://doi.org/10.1016/S0040-1625(03)00048-9)
- Kostopoulos, K., Papalexandris, A., Papachroni, M., Ioannou, G., 2011. Absorptive capacity, innovation, and financial performance. *Journal of Business Research* 64, 1335-1343. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2010.12.005>
- Kotey, R., Abor, J., 2019. The role of technology as an absorptive capacity in economic growth in emerging economies: A new approach. *The European Journal of Applied Economics* 16, 59-78. <https://doi.org/10.5937/EJAE16-20133>
- Kreng, V.B., Wu, C.Y., Wang, I.C., 2011. Strategic justification of advanced manufacturing technology using an extended AHP model. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 52, 1103-1113. <https://doi.org/10.1007/s00170-010-2805-1>
- Kuei, C.H., Madu, C.N., Lin, C., 2011. Developing global supply chain quality management systems. *International Journal of Production Research* 49, 4457-4481. <https://doi.org/10.1080/00207543.2010.501038>
- Kumar, A., Sah, B., Singh, A.R., Deng, Y., He, X., Kumar, P., 2017. A review of multi criteria decision making ( MCDM ) towards sustainable renewable energy development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 69, 596-609. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.191>
- Kuo, R.J., Hsu, C.W., Chen, Y.L., 2015. Integration of fuzzy ANP and fuzzy TOPSIS for evaluating carbon performance of suppliers. *International Journal of Environmental Science and Technology* 12, 3863-3876. <https://doi.org/10.1007/s13762-015-0819-9>
- Kuznets, S., 1966. *Modern Economic Growth*.
- Labib, A.W., 2011. A supplier selection model: A Comparison of Fuzzy Logic and the Analytic Hierarchy Process. *International Journal of Production Research* 12, 1537-1546.
- Lai, K.K., Wu, S.J., 2005. Using the patent co-citation approach to establish a new patent classification system. *Information Processing and Management* 41, 313-330. <https://doi.org/10.1016/j.ipm.2003.11.004>
- Lamb, M., Gregory, M., 1997. Industrial concerns in technology selection, en: *Innovation in Technology Management - The Key to Global Leadership*, PICMET 1997: Portland International Conference on Management and Technology. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., pp. 206-208. <https://doi.org/10.1109/PICMET.1997.653333>
- Landeta, J., 1999. El método Delphi: una técnica de previsión para la incertidumbre, en: *Barcelona: Ariel*.
- Lane, P.J., Koka, B.R., Pathak, S., 2006. The reification of absorptive capacity: A critical review and rejuvenation of the construct. *Academy of Management Review* 31, 833-863.

<https://doi.org/10.5465/AMR.2006.22527456>

- Lane, P.J., Lubatkin, M., 1998. Relative absorptive capacity and interorganizational learning. *Strategic Management Journal* 19, 461-477. [https://doi.org/10.1002/\(sici\)1097-0266\(199805\)19:5<461::aid-smj953>3.3.co;2-c](https://doi.org/10.1002/(sici)1097-0266(199805)19:5<461::aid-smj953>3.3.co;2-c)
- Lane, P.J., Salk, J.E., Lyles, M.A., 2001. Absorptive capacity, learning, and performance in international joint ventures. *Strategic Management Journal* 22, 1139-1161. <https://doi.org/10.1002/smj.206>
- Lee, A.H.I., Wang, W.M., Lin, T.Y., 2010. An evaluation framework for technology transfer of new equipment in high technology industry. *Technological Forecasting and Social Change* 77, 135-150. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2009.06.002>
- Lee, C., Lee, H., Seol, H., Park, Y., 2012. Evaluation of new service concepts using rough set theory and group analytic hierarchy process. *Expert Systems with Applications* 39, 3404-3412. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.09.028>
- Lee, J., Win, H.N., 2004. Technology transfer between university research centers and industry in Singapore. *Technovation* 24, 433-442. [https://doi.org/10.1016/S0166-4972\(02\)00101-3](https://doi.org/10.1016/S0166-4972(02)00101-3)
- Lee, J.H., Phaal, R., Lee, S.H., 2013. An integrated service-device-technology roadmap for smart city development. *Technological Forecasting and Social Change* 80, 286-306. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2012.09.020>
- Lee, V.-H., Foo, A.T.-L., Leong, L.-Y., Ooi, K.-B., 2016. Can competitive advantage be achieved through knowledge management? A case study on SMEs. *Expert Systems with Applications* 65, 136-151. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2016.08.042>
- Lei, D.T., 2000. Industry evolution and competence development: the imperatives of technological convergence. *International Journal of Technology Management* 19, 699-738. <https://doi.org/10.1504/ijtm.2000.002848>
- Li, C.W., Tzeng, G.H., 2009. Identification of a threshold value for the DEMATEL method using the maximum mean de-entropy algorithm to find critical services provided by a semiconductor intellectual property mall. *Expert Systems with Applications* 36, 9891-9898. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2009.01.073>
- Liang, S.K., Yuan, B., Chow, L.R., 1999. Decision model linkage between technology forecasting, technology dominance and technology strategy. *International Journal of Technology Management* 18, 46-55. <https://doi.org/10.1504/ijtm.1999.002759>
- Liao, J., Welsch, H., Stoica, M., 2003. Organizational Absorptive Capacity and Responsiveness: An Empirical Investigation of Growth-Oriented SMEs. *Entrepreneurship Theory and Practice* 28, 63-85. <https://doi.org/10.1111/1540-8520.00032>
- Liao, S.H., 2005. Technology management methodologies and applications: A literature review from 1995 to 2003. *Technovation* 25, 381-393.

<https://doi.org/10.1016/j.technovation.2003.08.002>

- Liberatore, M.J., Myers, R.E., Nydick, R.L., Steinberg, M., Brown, E.R., Gay, R., Powell, T., Powell, R.L., 2003. Decision counseling for men considering prostate cancer screening. *Computers and Operations Research* 30, 1421-1434. [https://doi.org/10.1016/S0305-0548\(02\)00186-7](https://doi.org/10.1016/S0305-0548(02)00186-7)
- Liberatore, M.J., Nydick, R.L., Sanchez, P.M., 1992. The Evaluation of Research Papers (Or How to Get an Academic Committee to Agree on Something). *Interfaces* 22, 92-100. <https://doi.org/10.1287/inte.22.2.92>
- Lichtenthaler, U., 2016. Determinants of absorptive capacity: the value of technology and market orientation for external knowledge acquisition. *Journal of Business and Industrial Marketing* 31, 600-610. <https://doi.org/10.1108/JBIM-04-2015-0076>
- Lichtenthaler, U., 2008. Opening up strategic technology planning: Extended roadmaps and functional markets. *Management Decision* 46, 77-91. <https://doi.org/10.1108/00251740810846752>
- Lima, A.S., De Souza, J.N., Moura, J.A.B., Da Silva, I.P., 2018. A Consensus-Based Multicriteria Group Decision Model for Information Technology Management Committees. *IEEE Transactions on Engineering Management* 65, 276-292. <https://doi.org/10.1109/TEM.2017.2787564>
- Linstone, H.A., Turoff, M., 2002. *The Delphi method: Techniques and Applications*, Portland: Portland State University.
- Linstone, H.A., Turoff, M., 1975. *The Delphi Method: Techniques and Applications*, en: London: Addison-Wesley.
- Liu, C., Guo, Q., 2019. Technology spillover effect in China: The spatiotemporal evolution and its drivers. *Sustainability (Switzerland)* 11. <https://doi.org/10.3390/su11061694>
- Liu, C.H., Tzeng, G.H., Lee, M.H., 2012. Improving tourism policy implementation - The use of hybrid MCDM models. *Tourism Management* 33, 413-426. <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2011.05.002>
- Liu, P.C.Y., Lo, H.W., Liou, J.J.H., 2020. A combination of DEMATEL and BWM-based ANP methods for exploring the green building rating system in Taiwan. *Sustainability (Switzerland)* 12, 3216. <https://doi.org/10.3390/SU12083216>
- Logar, C.M., Ponzurick, T.G., Spears, J.R., Russo France, K., 2001. Commercializing intellectual property: A university-industry alliance for new product development. *Journal of Product & Brand Management* 10, 206-217. <https://doi.org/10.1108/EUM0000000005672>
- Lootsma, F.A., 1990. The french and the american school in multi- criteria decision analysis. *RAIRO. RECHERCHE OPÉRATIONNELLE* 24, 263-285.
- Lopez-Bassols, V., Millot, V., 2013. *Measuring R&D and Innovation in Services: Key Findings*



from the OECD INNOSERV project. paper prepared for the Working Party of National Experts on Science and Technology Indicators (NESTI) and the Working Party on Innovation and Technology Policy (TIP), OECD, Paris.

López-Gómez, E., 2018. EL MÉTODO DELPHI EN LA INVESTIGACIÓN ACTUAL EN EDUCACIÓN: UNA REVISIÓN TEÓRICA Y METODOLÓGICA. *Educación XX1* 21, 17-40. <https://doi.org/10.5944/educXX1.15536>

López-Martínez, R.E., Medellín, E., Scanlon, A.P., Solleiro, J.L., 1994. Motivations and obstacles to university industry cooperation (UIC): a Mexican case. *R&D Management* 24, 017-030. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9310.1994.tb00844.x>

López, A., Méndez, D., Paz, A., Arboleda, H., 2016. Desarrollo e Instrumentación de un Proceso de Vigilancia Tecnológica basado en Protocolos de Revisión Sistemática de la Literatura. *Informacion Tecnologica*. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642016000400017>

Lotfi, F.H., Jahanshahloo, G.R., Khodabakhshi, M., Rostamy-Malkhlifeh, M., Moghaddas, Z., Vaez-Ghasemi, M., 2013. A Review of Ranking Models in Data Envelopment Analysis. *Journal of Applied Mathematics* 2013, 20. <https://doi.org/10.1155/2013/492421>

Lowe, A., Ridgway, K., Atkinson, H., 2000. QFD in new production technology evaluation. *International Journal of Production Economics* 67, 103-112. [https://doi.org/10.1016/S0925-5273\(99\)00125-5](https://doi.org/10.1016/S0925-5273(99)00125-5)

Ludwig, B., 1997. Predicting the future: have you considered using the Delphi methodology? *Journal of Extension* 35, 1-4.

Lyles, M., Salk, J., 1996. Knowledge Acquisition from Foreign Parents in International Joint Ventures : An Empirical Examination in the Hungarian Context Author ( s ): Marjorie A . Lyles and Jane E . Salk Source : *Journal of International Business Studies* , Vol . 27 , No . 5 , *Glob. Journal of International Business Studies* 27, 877-903.

Ma, D., Chang, C.C., Hung, S.W., 2013. The selection of technology for late-starters: A case study of the energy-smart photovoltaic industry. *Economic Modelling* 35, 10-20. <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2013.06.030>

Macaulay, J., O'Connell, K., Namboodri, C., Delaney, K., 2015. The Digital Manufacturer. Resolving the Service Dilemma. Cisco (November 2015).

Mahmood, Z., Amir, A., Javied, S., Zafar, F., 2013. Strategic management of technology and innovation. *Global Journal of Management and Business Research Administration and Management* 13, 37-43.

Malhotra, A., Gosain, S., El Sawy, O.A., 2005. Absorptive capacity configurations in supply chains: Gearing for partner-enabled market knowledge creation. *MIS Quarterly: Management Information Systems* 29, 145-187. <https://doi.org/10.2307/25148671>

Mansfield, E., Lee, J.Y., 1996. The modern university: Contributor to industrial innovation and

- recipient of industrial R & D support. *Research Policy* 25, 1047-1058. [https://doi.org/10.1016/S0048-7333\(96\)00893-1](https://doi.org/10.1016/S0048-7333(96)00893-1)
- MANUFUTURE-EU, 2006. STRATEGIC RESEARCH AGENDA assuring the future of manufacturing in Europe. MANUFUTURE Platform.
- Manyika, J., Sinclair, J., Dobbs, R., Roxburgh, C., 2012. Manufacturing the future: The next era of global growth and innovation. McKinsey Global.
- Mardani, A., Jusoh, A., Nor, K.M.D., Khalifah, Z., Zakwan, N., Valipour, A., 2015. Multiple criteria decision-making techniques and their applications - A review of the literature from 2000 to 2014. *Economic Research-Ekonomska Istrazivanja* . <https://doi.org/10.1080/1331677X.2015.1075139>
- Mareschal, B., Brans, J.P., 1988. Geometrical representations for MCDA. *European Journal of Operational Research* 34, 69-77. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(88\)90456-0](https://doi.org/10.1016/0377-2217(88)90456-0)
- Mariano, S., Walter, C., 2015. The construct of absorptive capacity in knowledge management and intellectual capital research: Content and text analyses. *Journal of Knowledge Management* 19, 372-400. <https://doi.org/10.1108/JKM-08-2014-0342>
- Martínez-Noya, A., Narula, R., 2018. What more can we learn from R&D alliances? A review and research agenda. *BRQ Business Research Quarterly* 21, 195-212. <https://doi.org/10.1016/J.BRQ.2018.04.001>
- Martinkenaite, I., Breunig, K.J., 2016. The emergence of absorptive capacity through micro-macro level interactions. *Journal of Business Research* 69, 700-708. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2015.08.020>
- Matthews, W.H., 1992. Conceptual framework for integrating technology into business strategy. *International Journal of Vehicle Design* 13, 524-532. <https://doi.org/10.1504/IJVD.1992.061744>
- McConnell, D.P., Cross, S.E., 2019. Realizing the Value of Industry-University Innovation Alliances. *Research Technology Management* 62, 40-48. <https://doi.org/10.1080/08956308.2019.1563437>
- McGrath, R.G., MacMillan, I.C., 2000. Assessing technology projects using real options reasoning. *Research Technology Management* 43, 35-49. <https://doi.org/10.1080/08956308.2000.11671367>
- Mckee, M., Priest, P., Ginzler, M., Black, N., 1991. How representative are members of expert panels? *International Journal for Quality in Health Care* 3, 89-94. <https://doi.org/10.1093/intqhc/3.2.89>
- McNamara, G., Deephouse, D.L., Luce, R.A., 2003. Competitive positioning within and across a strategic group structure: The performance of core, secondary, and solitary firms. *Strategic Management Journal* 24, 161-181. <https://doi.org/10.1002/smj.289>

- McNamara, P., Baden-Fuller, C., 1999. Lessons from the Celltech Case: Balancing Knowledge Exploration and Exploitation in Organizational Renewal. *British Journal of Management* 10, 291-307. <https://doi.org/10.1111/1467-8551.00140>
- Mead, N., Beckman, K., Lawrence, J., O'Mary, G., Parish, C., Unpingco, P., Walker, H., 1999. Industry/university collaborations: Different perspectives heighten mutual opportunities. *Journal of Systems and Software* 49, 155-162. [https://doi.org/10.1016/S0164-1212\(99\)00091-6](https://doi.org/10.1016/S0164-1212(99)00091-6)
- Meesapawong, P., Rezgui, Y., Li, H., 2014. Planning innovation orientation in public research and development organizations: Using a combined Delphi and Analytic Hierarchy Process approach. *Technological Forecasting and Social Change* 87, 245-256. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2013.12.023>
- Meeus, M.T.H., Oerlemans, L.A.G., Hage, J., 2001. Patterns of interactive learning in a high-tech region. *Organization Studies* 22, 145-172. <https://doi.org/10.1177/017084060102200106>
- Mela, K., Tiainen, T., Heinisuo, M., 2012. Comparative study of multiple criteria decision making methods for building design, en: *Advanced Engineering Informatics*. Elsevier, pp. 716-726. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2012.03.001>
- Meroño-Cerdán, A.L., Soto-Acosta, P., López-Nicolás, C., 2008. How do collaborative technologies affect innovation in SMEs? *International Journal of e-Collaboration* 4, 33-50. <https://doi.org/10.4018/jec.2008100103>
- Meyer-Krahmer, F., Schmoch, U., 1998. Science-based technologies: University-industry interactions in four fields. *Research Policy* 27, 835-851. [https://doi.org/10.1016/S0048-7333\(98\)00094-8](https://doi.org/10.1016/S0048-7333(98)00094-8)
- Mian, S.A., 1997. Assessing and managing the university technology business incubator: An integrative framework, en: *Journal of Business Venturing*. Elsevier Inc., pp. 251-285. [https://doi.org/10.1016/S0883-9026\(96\)00063-8](https://doi.org/10.1016/S0883-9026(96)00063-8)
- Mietzner, D., Reger, G., 2005. Advantages and disadvantages of scenario approaches for strategic foresight, *Int. J. Technology Intelligence and Planning*.
- Ministerio de Economía y Competitividad, 2013. Estrategia española de ciencia y tecnología y de innovación 2013-2020 1-43. <https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>
- Mir, M., Casadesús, M., Petnji, L.H., 2016. The impact of standardized innovation management systems on innovation capability and business performance: An empirical study. *Journal of Engineering and Technology Management* 41, 26-44. <https://doi.org/10.1016/j.jengtecman.2016.06.002>
- Mladineo, N., Margeta, J., Brans, J.P., Mareschal, B., 1987. Multicriteria ranking of alternative locations for small scale hydro plants. *European Journal of Operational Research* 31, 215-222. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(87\)90025-7](https://doi.org/10.1016/0377-2217(87)90025-7)

- Mohanty, R., Deshmukh, S., 1998. Advanced manufacturing technology selection: A strategic model for learning and evaluation. *International Journal of Production Economics* 55, 295-307. [https://doi.org/10.1016/S0925-5273\(98\)00075-9](https://doi.org/10.1016/S0925-5273(98)00075-9)
- Mohanty, R.P., Agarwal, R., Choudhury, a. K., Tiwari, M.K., 2005. A fuzzy ANP-based approach to R&D project selection: A case study. *International Journal of Production Research* 43, 5199-5216. <https://doi.org/10.1080/00207540500219031>
- Mohindru, P., 2011. MCDM Methods INTRODUCTION.
- Montoya-Weiss, M.M., Calantone, R., 1994. Determinants of New Product Performance: A Review and Meta-Analysis. *Journal of Product Innovation Management*. <https://doi.org/10.1111/1540-5885.1150397>
- Mora-Valentín, E.M., 2000. University—Industry Cooperation: A Framework of Benefits and Obstacles. *Industry and Higher Education* 14, 165-172. <https://doi.org/10.5367/000000000101295011>
- Mora-Valentin, E.M., Montoro-Sanchez, A., Guerras-Martin, L.A., 2004. Determining factors in the success of R&D cooperative agreements between firms and research organizations. *Research Policy* 33, 17-40. [https://doi.org/10.1016/S0048-7333\(03\)00087-8](https://doi.org/10.1016/S0048-7333(03)00087-8)
- Morais, D.C., de Almeida, A.T., 2007. Group decision-making for leakage management strategy of water network. *Resources, Conservation and Recycling* 52, 441-459. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2007.06.008>
- Morillo, F., Efrain-Garcia, P., 2015. A bibliometric analysis of Technology Centres. *Scientometrics* 104, 685-713. <https://doi.org/10.1007/s11192-015-1631-5>
- Mortazavi Ravari, S.S., Mehrabanfar, E., Banaitis, A., Banaitienė, N., 2016. Framework for assessing technological innovation capability in research and technology organizations. *Journal of Business Economics and Management* 17, 825-847. <https://doi.org/10.3846/16111699.2016.1253607>
- Mouliprasanth, B., Hariharan, P., 2020. Measurement of Performance and Geometrical Features in Electrochemical Micromachining of SS304 Alloy. *Experimental Techniques* 44, 259-273. <https://doi.org/10.1007/s40799-019-00350-y>
- Mowery, D.C., Oxley, J.E., Silverman, B.S., 1996. STRATEGIC ALLIANCES AND INTERFIRM KNOWLEDGE TRANSFER, *Strategic Management Journal*.
- Muerza, V., De Arcocha, D., Larrodé, E., Moreno-Jiménez, J.M., 2014. The multicriteria selection of products in technological diversification strategies: An application to the Spanish automotive industry based on AHP. *Production Planning and Control* 25, 715-728. <https://doi.org/10.1080/09537287.2013.798089>
- Mullen, P.M., 2003. Delphi: Myths and reality. *Journal of Health Organization and Management* 17, 37-52. <https://doi.org/10.1108/14777260310469319>

- Müller, J.M., Buliga, O., Voigt, K.-I.I., 2018. Fortune favors the prepared: How SMEs approach business model innovations in Industry 4.0. *Technological Forecasting and Social Change* 132, 2-17. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2017.12.019>
- Murata, K., Katayama, H., 2013. A study of the performance evaluation of the visual management case-base: Development of an integrated model by Quantification Theory Category III and AHP. *International Journal of Production Research* 51, 380-394. <https://doi.org/10.1080/00207543.2011.638944>
- Murovec, N., Prodan, I., 2009. Absorptive capacity, its determinants, and influence on innovation output: Cross-cultural validation of the structural model. *Technovation* 29, 859-872. <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2009.05.010>
- Myoken, Y., 2013. The role of geographical proximity in university and industry collaboration: case study of Japanese companies in the UK. *International Journal of Technology Transfer and Commercialisation* 12, 43. <https://doi.org/10.1504/ijttc.2013.064170>
- Naftaly, M., Vieweg, N., Deninger, A., 2019. Industrial applications of terahertz sensing: State of play. *Sensors (Switzerland)* 19. <https://doi.org/10.3390/s19194203>
- Nazarko, L., 2019. Responsible research and innovation – A conceptual contribution to theory and practice of technology management. *Business: Theory and Practice* 20, 342-351. <https://doi.org/10.3846/btp.2019.32>
- Nerdrum, L., Guldbrandsen, M., 2009. The technical-industrial research institutes in the Norwegian innovation system, en: *Innovation, Path Dependency, and Policy: The Norwegian Case*. pp. 327-348. <https://doi.org/10.1093/acprof>
- Newberg, J.A., Dunn, R.L., 2002. KEEPING SECRETS IN THE CAMPUS LAB: LAW, VALUES AND RULES OF ENGAGEMENT FOR INDUSTRY-UNIVERSITY R&D PARTNERSHIPS. *American Business Law Journal* 39, 187-240. <https://doi.org/10.1111/j.1744-1714.2002.tb00298.x>
- Nicholls-Nixon, C.L., 1993. Absorptive capacity and technology sourcing: Implications for responsiveness of established firms. *Theses and Dissertations Available from ProQuest*.
- Nielsen, C., Sort, J.C., Bentsen, M.J., 2013. Levers of Management in University-Industry Collaborations: How project management affects value creation at different life-cycle stages of a collaboration. *Tertiary Education and Management* 19, 246-266. <https://doi.org/10.1080/13583883.2013.795603>
- Nieto, M., Lopéz, F., Cruz, F., 1998. Performance analysis of technology using the S curve model: The case of digital signal processing (DSP) technologies. *Technovation* 18, 439-457. [https://doi.org/10.1016/S0166-4972\(98\)00021-2](https://doi.org/10.1016/S0166-4972(98)00021-2)
- Nieto, M., Quevedo, P., 2005. Absorptive capacity, technological opportunity, knowledge spillovers, and innovative effort. *Technovation* 25, 1141-1157. <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2004.05.001>

- Nissing, N., 2007. Would you buy a purple orange? *Research Technology Management* 50, 35-39. <https://doi.org/10.1080/08956308.2007.11657439>
- Norese, M.F., 2006. ELECTRE III as a support for participatory decision-making on the localisation of waste-treatment plants. *Land Use Policy* 23, 76-85. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2004.08.009>
- Nouri, F.A., Esbouei, S.K., Antucheviciene, J., 2015a. A Hybrid MCDM Approach Based on Fuzzy ANP and Fuzzy TOPSIS for Technology Selection 26, 369-388. <https://doi.org/10.15388/Informatica.2015.53>
- Nouri, F.A., Esbouei, S.K., Antucheviciene, J., 2015b. A Hybrid MCDM Approach Based on Fuzzy ANP and Fuzzy TOPSIS for Technology Selection. *Informatica (Netherlands)* 26, 369-388. <https://doi.org/10.15388/Informatica.2015.53>
- NRC, 1987. *Management of Technology: The Hidden Competitive Advantage*. National Academy Press, Washington, DC, Washington DC.
- Ocampo, L., Deiparine, C.B., Go, A.L., 2020. Mapping Strategy to Best Practices for Sustainable Food Manufacturing Using Fuzzy DEMATEL-ANP-TOPSIS. *EMJ - Engineering Management Journal* 32, 130-150. <https://doi.org/10.1080/10429247.2020.1733379>
- OECD, 2015. «Manufacturing or Services-That is (not) the Question» THE ROLE OF MANUFACTURING AND SERVICES IN OECD ECONOMIES. OECD Science, Technology and Industry Policy Papers. <https://doi.org/10.1787/5js64ks09dmn-en>
- OECD, 2013a. INTERCONNECTED ECONOMIES: BENEFITING FROM GLOBAL VALUE CHAINS SYNTHESIS REPORT. OECD Publishing.
- OECD, 2013b. Supporting investment in knowledge capital, growth and innovation, OECD Publishing. Organisation for Economic Cooperation and Development (OECD). <https://doi.org/10.1787/9789264193307-en>
- Oliver, C., 1990. Determinants of Interorganizational Relationships: Integration and Future Directions. *Academy of Management Review* 15, 241-265. <https://doi.org/10.5465/amr.1990.4308156>
- Opricovic, S., 1998. Multicriteria optimization of civil engineering systems. PhD Thesis, Faculty of Civil Engineering, Belgrade.
- Opricovic, S., Tzeng, G.H., 2004. Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS. *European Journal of Operational Research* 156, 445-455. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(03\)00020-1](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(03)00020-1)
- Ordoobadi, S., 2011. Inclusion of risk in evaluation of advanced technologies. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 54, 413-420. <https://doi.org/10.1007/s00170-010-2938-2>

- Ordoobadi, S.M., 2013. Application of AHP and Taguchi loss functions in evaluation of advanced manufacturing technologies. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 67, 2593-2605. <https://doi.org/10.1007/s00170-012-4676-0>
- Ordoobadi, S.M., 2012. Application of ANP methodology in evaluation of advanced technologies. *Journal of Manufacturing Technology Management* 23, 229-252. <https://doi.org/10.1108/17410381211202214>
- Ordoobadi, S.M., Mulvaney, N.J., 2001. Development of a justification tool for advanced manufacturing technologies: System-wide benefits value analysis. *Journal of Engineering and Technology Management - JET-M* 18, 157-184. [https://doi.org/10.1016/S0923-4748\(01\)00033-9](https://doi.org/10.1016/S0923-4748(01)00033-9)
- Ortiz, B., Donate, M., Guadamillas Gómez, F., 2017. Capacidad de Absorción: Revisión Crítica y Proposición de un Modelo Teórico. *GECONTEC: revista Internacional de Gestión del Conocimiento y la Tecnología* 5, 1-22.
- Pagani, M., 2009. Roadmapping 3G mobile TV: Strategic thinking and scenario planning through repeated cross-impact handling. *Technological Forecasting and Social Change* 76, 382-395. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2008.07.003>
- Palm, E., Hansson, S.O., 2006. The case for ethical technology assessment (eTA). *Technological Forecasting and Social Change* 73, 543-558. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2005.06.002>
- Pandey, P.C., Kengpol, A., 1995. Selection of an automated inspection system using multiattribute decision analysis. *International Journal of Production Economics* 39, 289-298. [https://doi.org/10.1016/0925-5273\(94\)00087-Q](https://doi.org/10.1016/0925-5273(94)00087-Q)
- Paramasivam, V., Senthil, V., Rajam Ramasamy, N., 2011. Decision making in equipment selection: An integrated approach with digraph and matrix approach, AHP and ANP. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 54, 1233-1244. <https://doi.org/10.1007/s00170-010-2997-4>
- Parameshwaran, R., Praveen Kumar, S., Saravanakumar, K., 2015. An integrated fuzzy MCDM based approach for robot selection considering objective and subjective criteria. *Applied Soft Computing Journal* 26, 31-41. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2014.09.025>
- Pardo-Bosch, F., Aguado, A., 2016. Sustainability as the key to prioritize investments in public infrastructures. *Environmental Impact Assessment Review* 60, 40-51. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2016.03.007>
- Pardo-Bosch, F., Aguado, A., 2015. Investment priorities for the management of hydraulic structures. *Structure and Infrastructure Engineering* 11, 1338-1351. <https://doi.org/10.1080/15732479.2014.964267>
- Patterson, W., Ambrosini, V., 2015. Configuring absorptive capacity as a key process for research intensive firms. *Technovation* 36, 77-89.

<https://doi.org/10.1016/j.technovation.2014.10.003>

- Peltokorpi, V., 2017. Absorptive capacity in foreign subsidiaries: The effects of language-sensitive recruitment, language training, and interunit knowledge transfer. *International Business Review* 26, 119-129. <https://doi.org/10.1016/j.ibusrev.2016.05.010>
- Peng, Y., 2015. Regional earthquake vulnerability assessment using a combination of MCDM methods. *Annals of Operations Research* 234, 95-110. <https://doi.org/10.1007/s10479-012-1253-8>
- Perkmann, M., King, Z., Pavelin, S., 2011a. Engaging excellence? Effects of faculty quality on university engagement with industry. *Research Policy* 40, 539-552. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2011.01.007>
- Perkmann, M., Neely, A., Walsh, K., 2011b. How should firms evaluate success in university-industry alliances? A performance measurement system. *R and D Management* 41, 202-216. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9310.2011.00637.x>
- Perkmann, M., Salter, A., 2012. How to create productive partnerships with universities. *MIT Sloan Management Review* 53, 79-102.
- Perkmann, M., Tartari, V., McKelvey, M., Autio, E., Broström, A., D'Este, P., Fini, R., Geuna, A., Grimaldi, R., Hughes, A., Krabel, S., Kitson, M., Llerena, P., Lissoni, F., Salter, A., Sobrero, M., 2013. Academic engagement and commercialisation: A review of the literature on university-industry relations. *Research Policy* 42, 423-442. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2012.09.007>
- Peschner, J., Fotakis, C., 2013. Growth potential of EU human resources and policy implications for future economic growth, Publications Office of the European Union. <https://doi.org/10.2767/79370>
- Petras, J., 1997. Ranking the sites for low- and intermediate-level radioactive waste disposal facilities in Croatia. *International Transactions in Operational Research* 4, 237-249. [https://doi.org/10.1016/s0969-6016\(97\)00003-8](https://doi.org/10.1016/s0969-6016(97)00003-8)
- Pfeiffer, W., 1982. *Technologie-Portfolio zum Management strategischer Zukunftsgeschäftsfelder*. Vandenhoeck & Ruprecht, Göttingen.
- Phaal, R., 2004. Technology roadmapping - A planning framework for evolution and revolution. *Technological Forecasting and Social Change* 71, 5-26. [https://doi.org/10.1016/S0040-1625\(03\)00072-6](https://doi.org/10.1016/S0040-1625(03)00072-6)
- Phaal, Robert, Farrukh, C., Probert, D., 2001. *T-Plan : the fast-start to technology roadmapping : planning your route to success*. University of Cambridge, Institute for Manufacturing.
- Phaal, R., Farrukh, C., Probert, D.R., 2004. A framework for supporting the management of technological innovation. *International Journal of Technology Management*.
- Phaal, R., Farrukh, C.J.P., Probert, D.R., 2007. *Strategic roadmapping: A workshop-based*



- approach for identifying and exploring strategic issues and opportunities. *EMJ - Engineering Management Journal* 19, 3-12. <https://doi.org/10.1080/10429247.2007.11431716>
- Phaal, R., Farrukh, C.J.P., Probert, D.R., 2001. Technology management process assessment: a case study. *International Journal of Operations & Production Management* 21, 1116-1132. <https://doi.org/10.1108/EUM0000000005588>
- Phaal, R., Paterson, C.J., Probert, D.R., 1998. Technology management in manufacturing business: process and practical assessment. *Technovation* 18, 541-589. [https://doi.org/10.1016/S0166-4972\(98\)00026-1](https://doi.org/10.1016/S0166-4972(98)00026-1)
- Philbin, S., 2008. Process model for university-industry research collaboration. *European Journal of Innovation Management* 11, 488-521. <https://doi.org/10.1108/14601060810911138>
- Philbin, S.P., 2009. **\*\*Developing and Managing University-Industry Research Collaborations through a Process Methodology / Industrial Sector Approach.** *Journal of Research Administration* XLI, 51-69.
- Philbin, S.P., Jones, D., Brandon, N.P., Hawkes, A.D., 2014. Exploring research institutes: Structures, functioning and typology. *PICMET 2014 - Portland International Center for Management of Engineering and Technology, Proceedings: Infrastructure and Service Integration* 2569-2582.
- Phillips, N., Lawrence, T.B., Hardy, C., 2000. Interorganizational Collaboration and the Dynamics of Institutional Fields. *The Journal of Management Studies*.
- Pilar De La Cruz, M., Castro, A., Del Caño, A., Gómez, D., Lara, M., Cartelle, J.J., 2014. Comprehensive methods for dealing with uncertainty in assessing sustainability part 1: The MIVES-monte carlo method, en: *Soft Computing Applications for Renewable Energy and Energy Efficiency*. IGI Global, pp. 69-106. <https://doi.org/10.4018/978-1-4666-6631-3.ch004>
- Pilat, D., Cimper, A., Olsen, K., Webb, C., 2006. **THE CHANGING NATURE OF MANUFACTURING IN OECD ECONOMIES.** *Science Technology and Industry Working Paper* 2006/9, OECD,.
- Pinheiro, M.L., Lucas, C., Pinho, J.C., 2015. Social network analysis as a new methodological tool to understand university-industry cooperation. *International Journal of Innovation Management*. <https://doi.org/10.1142/S1363919615500139>
- Piva, E., Rossi-Lamastra, C., 2013. Systems of indicators to evaluate the performance of university-industry alliances: A review of the literature and directions for future research. *Measuring Business Excellence* 17, 40-54. <https://doi.org/10.1108/MBE-01-2013-0004>
- Platts, K.W., 1993. A Process Approach to Researching Manufacturing Strategy. *International Journal of Operations & Production Management* 13, 4-17.

<https://doi.org/10.1108/01443579310039533>

- Plewa, C., Korff, N., Johnson, C., MacPherson, G., Baaken, T., Rampersad, G.C., 2013. The evolution of university-industry linkages - A framework. *Journal of Engineering and Technology Management - JET-M* 30, 21-44. <https://doi.org/10.1016/j.jengtecman.2012.11.005>
- Plewa, C., Quester, P., 2007. Key drivers of university-industry relationships: The role of organisational compatibility and personal experience. *Journal of Services Marketing*. <https://doi.org/10.1108/08876040710773679>
- Pogatsnik, M., 2018. Dual education: The win-win model of collaboration between universities and industry. *International Journal of Engineering Pedagogy* 8, 145-152. <https://doi.org/10.3991/ijep.v8i3.8111>
- Pons, O., Aguado, A., 2012. Integrated value model for sustainable assessment applied to technologies used to build schools in Catalonia, Spain. *Building and Environment* 53, 49-58. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.01.007>
- Pons, O., De La Fuente, A., 2013. Integrated sustainability assessment method applied to structural concrete columns. *Construction and Building Materials* 49, 882-893. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.09.009>
- Pons, O., de la Fuente, A., Aguado, A., 2016. The use of MIVES as a sustainability assessment MCDM method for architecture and civil engineering applications. *Sustainability (Switzerland)* 8. <https://doi.org/10.3390/su8050460>
- Porter, M.E., 2006. The Five Competitive Forces that shape strategy. *Harvard Business Review*. <https://doi.org/Article>
- Porter, M.E., 1997. Competitive strategy. *Measuring Business Excellence*. <https://doi.org/10.1108/eb025476>
- Pourahmad, A., Hosseini, A., Banaitis, A., Nasiri, H., Banaitiené, N., Tzeng, G.H., 2015. Combination of fuzzy-AHP and DEMATEL-ANP with GIS in a new hybrid MCDM model used for the selection of the best space for leisure in a blighted urban site. *Technological and Economic Development of Economy* 21, 773-796. <https://doi.org/10.3846/20294913.2015.1056279>
- Powell, C., 2003. The Delphi technique: myths and realities. *Journal of advanced nursing* 41, 376-382.
- Prager, F.A., 2011. The Roles of Research and Technology Organizations in Europe: Viable strategies for RTOs.
- Probert, D.R., Jones, S.W., Gregory, M.J., 1993. The Make or Buy Decision in the Context of Manufacturing Strategy Development. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture* 207, 241-250.

[https://doi.org/10.1243/PIME\\_PROC\\_1993\\_207\\_086\\_02](https://doi.org/10.1243/PIME_PROC_1993_207_086_02)

- Pujadas, P., Cavalaro, S.H.P., Aguado, A., 2019. Mives multicriteria assessment of urban-pavement conditions: application to a case study in Barcelona. *Road Materials and Pavement Design* 20, 1827-1843. <https://doi.org/10.1080/14680629.2018.1474788>
- Pujadas, P., Pardo-Bosch, F., Aguado-Renter, A., Aguado, A., 2017. MIVES multi-criteria approach for the evaluation, prioritization, and selection of public investment projects. A case study in the city of Barcelona. *Land Use Policy* 64, 29-37. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.02.014>
- Queiruga, D., Walther, G., González-Benito, J., Spengler, T., 2008. Evaluation of sites for the location of WEEE recycling plants in Spain. *Waste Management* 28, 181-190. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2006.11.001>
- Ragavan, P., Punniyamoorthy, M., 2003. A Strategic Decision Model for the Justification of Technology Selection. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 21, 72-78. <https://doi.org/10.1007/s001700300008>
- Raju, K.S., Duckstein, L., Arondel, C., 2000. Multicriterion analysis for sustainable water resources planning: A case study in Spain. *Water Resources Management* 14, 435-456. <https://doi.org/10.1023/A:1011120513259>
- Ramanathan, R., Ganesh, L.S., 1995. Using AHP for resource allocation problems. *European Journal of Operational Research* 80, 410-417. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(93\)E0240-X](https://doi.org/10.1016/0377-2217(93)E0240-X)
- Reagans, R., Mcevily, B., 2003. Network Structure and Knowledge Transfer: The Effects of Cohesion and Range. *Administrative Science Quarterly* 48, 240-267. <https://doi.org/10.2307/3556658>
- Rehman, A.U., Mian, S.H., Umer, U., Usmani, Y.S., 2019. Strategic outcome using fuzzy-AHP-based decision approach for sustainable manufacturing. *Sustainability (Switzerland)* 11. <https://doi.org/10.3390/su11216040>
- Ren, J., Manzardo, A., Mazzi, A., Zuliani, F., Scipioni, A., 2015. Prioritization of bioethanol production pathways in China based on life cycle sustainability assessment and multicriteria decision-making. *International Journal of Life Cycle Assessment* 20, 842-853. <https://doi.org/10.1007/s11367-015-0877-8>
- Rhee, J., Park, T., Lee, D.H., 2010. Drivers of innovativeness and performance for innovative SMEs in South Korea: Mediation of learning orientation. *Technovation* 30, 65-75. <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2009.04.008>
- Rincón-Díaz, C.A., Albors-Garrigós, J., 2013. Sustaining strategies in RTOs. A contingent model for understanding RTOs' performance Estrategias de sostenimiento de los Centros Tecnológicos. Un modelo contingente para entender su desempeño, *Dirección y Organización*.

- Roberts, N., Galluch, P.S., Dinger, M., Grover, V., 2012. Absorptive capacity and information systems research: Review, synthesis, and directions for future research. *MIS Quarterly: Management Information Systems* 36, 625-648. <https://doi.org/10.2307/41703470>
- Robledo, J., 2017. *Introducción a la Gestión de la Tecnología y la Innovación*. Universidad Nacional de Colombia, Medellín.
- Roessl, D., Hyslop, K., 2016. THE ROLE OF NETWORKS IN THE INNOVATION PROCESSES OF SMEs. *Make Learn and TIIM Joint International Conference*.
- Rogers, E.M., Singhal, A., Quinlan, M.M., 2019. Diffusion of innovations. *An Integrated Approach to Communication Theory and Research, Third Edition* 415-433. <https://doi.org/10.4324/9780203710753-35>
- Rohrbeck, R., Arnold, H.M., 2006. Making university-industry collaboration work – a case study on the Deutsche Telekom Laboratories contrasted with findings in literature, en: *ISPIM 2006 Conference – “Networks for Innovation” 11th-14th June 2006*.
- Rohrbeck, R., Heuer, J., Arnold, H., 2006. The Technology Radar - An instrument of technology intelligence and innovation strategy. *ICMIT 2006 Proceedings - 2006 IEEE International Conference on Management of Innovation and Technology 2*, 978-983. <https://doi.org/10.1109/ICMIT.2006.262368>
- Roper, A.T., Cunningham, S.W., Porter, A.L., Mason, T.W., Rossini, F.A., Banks, J., 2011. *FORECASTING AND MANAGEMENT OF TECHNOLOGY*.
- Rostamzadeh, R., Govindan, K., Esmaili, A., Sabaghi, M., 2015. Application of fuzzy VIKOR for evaluation of green supply chain management practices. *Ecological Indicators* 49, 188-203. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.09.045>
- Roux, O., Duvivier, D., Dhaevers, V., Meskens, N., Artiba, A., 2008. Multicriteria approach to rank scheduling strategies \$. *Int. J. Production Economics* 112, 192-201. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2006.08.020>
- Roy, B., 1968. Classement et choix en présence de points de vue multiplesE. *Revue française d'informatique et de recherche opérationnelle* 2, 57-75.
- Rush, H., Bessant, J., Hobday, M., 2007. Assessing the technological capabilities of firms: developing a policy tool. *R&D Management* 37.
- Rybnicek, R., Königsgruber, R., Roland, 2018. What makes industry-university collaboration succeed? A systematic review of the literature. *Journal of Business Economics* 89, 221-250. <https://doi.org/10.1007/s11573-018-0916-6>
- Rybnicek, R., Königsgruber, R., 2019. What makes industry–university collaboration succeed? A systematic review of the literature. *Journal of Business Economics* 89, 221-250. <https://doi.org/10.1007/s11573-018-0916-6>
- Saaty, T.L., 2004. *Fundamentals of the analytic network process — Dependence and feedback*

- in decision-making with a single network. *Journal of Systems Science and Systems Engineering* 13, 129-157. <https://doi.org/10.1007/s11518-006-0158-y>
- Saaty, T.L., 1996. *Decision Making with Dependence and Feedback: The Analytic Network Process*, undefined.
- Saaty, T.L., 1987. The analytic hierarchy process-what it is and how it is used. *Mathematical Modelling* 9, 161-176. [https://doi.org/10.1016/0270-0255\(87\)90473-8](https://doi.org/10.1016/0270-0255(87)90473-8)
- Saaty, T.L., 1980. *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw-Hill, New York.
- Saaty, T.L., Vargas, L.G., 2013. The Analytic Network Process. *Decision making with the analytic network process* 195, 1-40. [https://doi.org/10.1007/978-1-4614-7279-7\\_1](https://doi.org/10.1007/978-1-4614-7279-7_1)
- Sahlman, K., 2010. Elements of strategic technology management, *Industrial Engineering*.
- Salgado, E.G., Salomon, V.A.P., Mello, C.H.P., 2012. Analytic hierarchy prioritisation of new product development activities for electronics manufacturing. *International Journal of Production Research* 50, 4860-4866. <https://doi.org/10.1080/00207543.2012.657972>
- Sambasivarao, K. V., Deshmukh, S.G., 1997. A decision support system for selection and justification of advanced manufacturing technologies. *Production Planning and Control* 8, 270-284. <https://doi.org/10.1080/095372897235325>
- San-José Lombera, J.-T., Garrucho Aprea, I., 2010. A system approach to the environmental analysis of industrial buildings. *Building and Environment* 45, 673-683. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.08.012>
- Santoro, M.D., Betts, S.C., 2002. Making industry-university partnerships work. *Research Technology Management* 45, 42-46. <https://doi.org/10.1080/08956308.2002.11671499>
- Santoro, M.D., Chakrabarti, A.K., 2001. Corporate strategic objectives for establishing relationships with university research centers. *IEEE Transactions on Engineering Management* 48, 157-163. <https://doi.org/10.1109/17.922475>
- Santoro, M.D., Chakrabarti, A.K., 1999. Building Industry–University Research Centers: Some Strategic Considerations. *International Journal of Management Reviews* 1, 225-244. <https://doi.org/10.1111/1468-2370.00014>
- Santoro, M.D., Gopalakrishnan, S., 2001. Relationship dynamics between university research centers and industrial firms: Their impact on technology transfer activities. *Journal of Technology Transfer* 26, 163-171. <https://doi.org/10.1023/A:1007804816426>
- Santoro, M.D., Gopalakrishnan, S., 2000. Institutionalization of knowledge transfer activities within industry-university collaborative ventures. *Journal of Engineering and Technology Management - JET-M* 17, 299-319. [https://doi.org/10.1016/S0923-4748\(00\)00027-8](https://doi.org/10.1016/S0923-4748(00)00027-8)
- Sarfraz, A., Jenab, K., D'Souza, A.C., 2012. Evaluating ERP implementation choices on the basis of customisation using fuzzy AHP. *International Journal of Production Research* 50, 7057-7067. <https://doi.org/10.1080/00207543.2012.654409>

- Sarkis, J., Talluri, S., 2004. Evaluating and selecting e-commerce software and communication systems for a supply chain. *European Journal of Operational Research* 159, 318-329. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2003.08.018>
- Schartinger, D., Rammer, C., Fischer, M.M., Fröhlich, J., 2002. Knowledge interactions between universities and industry in Austria: Sectoral patterns and determinants. *Research Policy* 31, 303-328. [https://doi.org/10.1016/S0048-7333\(01\)00111-1](https://doi.org/10.1016/S0048-7333(01)00111-1)
- Schildt, H., Keil, T., Maula, M., 2012. The temporal effects of relative and firm-level absorptive capacity on interorganizational learning. *Strategic Management Journal* 33, 1154-1173. <https://doi.org/10.1002/smj.1963>
- Schillaci, C.E., Romano, M., Nicotra, M., 2013. Territory's Absorptive Capacity. *Entrepreneurship Research Journal* 3, 109-126. <https://doi.org/10.1515/erj-2012-0001>
- Schillo, R.S., Kinder, J.S., 2017. Delivering on societal impacts through open innovation: a framework for government laboratories. *Journal of Technology Transfer* 42, 977-996. <https://doi.org/10.1007/s10961-016-9521-4>
- Schmidt, T., 2005. Absorptive Capacity-One Size Fits All? Centre for European Economic Research.
- Schoemaker, P.J.H., 1991. When and how to use scenario planning: A heuristic approach with illustration. *Journal of Forecasting* 10, 549-564. <https://doi.org/10.1002/for.3980100602>
- Schoenmakers, W., Duysters, G., 2010. The technological origins of radical inventions. *Research Policy* 39, 1051-1059. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2010.05.013>
- Schubert, P., Bjørn-Andersen, N., 2012. University-industry collaboration in is research: An investigation of successful collaboration models. 25th Bled eConference - eDependability: Reliable and Trustworthy eStructures, eProcesses, eOperations and eServices for the Future, Proceedings 109-126.
- Schumpeter, J.A., 1934. *The theory of economic development: an inquiry into profits, capital, credit, interest, and the business cycle*. Cambridge: Harvard University Press.
- Segarra-Blasco, A., Arauzo-Carod, J.M., 2008. Sources of innovation and industry-university interaction: Evidence from Spanish firms. *Research Policy* 37, 1283-1295. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2008.05.003>
- Seppo, M., Lilles, A., 2012. Indicators Measuring University-Industry Cooperation. *Eesti Majanduspoliitilised Väitlused* 20. <https://doi.org/10.15157/tpet.v20i1.782>
- Sharif, M.N., Sundararajan, V., 1983. A quantitative model for the evaluation of technological alternatives. *Technological Forecasting and Social Change* 24, 15-29. [https://doi.org/10.1016/0040-1625\(83\)90060-4](https://doi.org/10.1016/0040-1625(83)90060-4)
- Shehabuddeen, N., Probert, D., Phaal, R., 2006. From theory to practice: Challenges in operationalising a technology selection framework. *Technovation* 26, 324-335.

<https://doi.org/10.1016/j.technovation.2004.10.017>

- Shen, Y.C., Chang, S.H., Lin, G.T.R., Yu, H.C., 2010. A hybrid selection model for emerging technology. *Technological Forecasting and Social Change* 77, 151-166. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2009.05.001>
- Sherwood, A., Butts, S.B., Kacar, S.L., 2004. Partnering for knowledge: A learning framework for university-industry collaboration, en: *Midwest Academy of Management, Annual Meeting*.
- Shibayama, S., Wang, J., 2020. Measuring originality in science. *Scientometrics* 122, 409-427. <https://doi.org/10.1007/s11192-019-03263-0>
- Short MCDM History [WWW Document], s. f. . International Society on MCDM. URL <https://www.mcdmsociety.org/content/short-mcdm-history-0> (accedido 7.10.20).
- Si, S.L., You, X.Y., Liu, H.C., Zhang, P., 2018. DEMATEL Technique: A Systematic Review of the State-of-the-Art Literature on Methodologies and Applications. *Mathematical Problems in Engineering* 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/3696457>
- Siegel, D.S., Waldman, D., Link, A., 2003a. Assessing the impact of organizational practices on the relative productivity of university technology transfer offices: An exploratory study, en: *Research Policy*. North-Holland, pp. 27-48. [https://doi.org/10.1016/S0048-7333\(01\)00196-2](https://doi.org/10.1016/S0048-7333(01)00196-2)
- Siegel, D.S., Waldman, D.A., Atwater, L.E., Link, A.N., 2004. Toward a model of the effective transfer of scientific knowledge from academicians to practitioners: Qualitative evidence from the commercialization of university technologies. *Journal of Engineering and Technology Management - JET-M* 21, 115-142. <https://doi.org/10.1016/j.jengtecman.2003.12.006>
- Siegel, D.S., Waldman, D.A., Atwater, L.E., Link, A.N., 2003b. Commercial knowledge transfers from universities to firms: Improving the effectiveness of university-industry collaboration. *Journal of High Technology Management Research* 14, 111-133. [https://doi.org/10.1016/S1047-8310\(03\)00007-5](https://doi.org/10.1016/S1047-8310(03)00007-5)
- Siksnyte, I., Zavadskas, E.K., Streimikiene, D., Sharma, D., 2018. An overview of multi-criteria decision-making methods in dealing with sustainable energy development issues. *Energies* 11. <https://doi.org/10.3390/en11102754>
- Simon, U., Brüggemann, R., Pudenz, S., 2004. Aspects of decision support in water management - Example Berlin and Potsdam (Germany) I - Spatially differentiated evaluation. *Water Research* 38, 1809-1816. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2003.12.037>
- Singh, S.P., Singh, V.K., 2011. Three-level AHP-based heuristic approach for a multi-objective facility layout problem. *International Journal of Production Research* 49, 1105-1125. <https://doi.org/10.1080/00207540903536148>

- Sinrat, S., Atthirawong, W., 2014. A conceptual framework of an integrated fuzzy ANP and TOPSIS for supplier selection based on supply chain risk management, en: IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management. IEEE Computer Society, pp. 1607-1611. <https://doi.org/10.1109/IEEM.2013.6962681>
- Skilbeck, J.N., Cruickshank, C.M., 1997. A framework for evaluating technology management process, en: Innovation in Technology Management - The Key to Global Leadership, PICMET 1997: Portland International Conference on Management and Technology. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., pp. 138-142. <https://doi.org/10.1109/PICMET.1997.653296>
- Slater, S.F., Narver, J.C., 1998. Customer-led and market-oriented: Let's not confuse the two. Strategic Management Journal 19, 1001-1006. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0266\(199810\)19:10<1001::AID-SMJ996>3.0.CO;2-4](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0266(199810)19:10<1001::AID-SMJ996>3.0.CO;2-4)
- Sliogeriene, J., Turskis, Z., Streimikiene, D., 2013. Analysis and choice of energy generation technologies: The multiple criteria assessment on the case study of Lithuania, en: Energy Procedia. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2013.05.003>
- Snyder, H., 2019. Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. Journal of Business Research 104, 333-339. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.07.039>
- Söllner, A., Rese, M., 2001. Market segmentation and the structure of competition: Applicability of the strategic group concept for an improved market segmentation on industrial markets. Journal of Business Research 51, 25-36. [https://doi.org/10.1016/S0148-2963\(99\)00043-0](https://doi.org/10.1016/S0148-2963(99)00043-0)
- Sompong, K., Udomvitid, K., 2015. Challenges of R&D institutions for technology collaboration with alliances in an emerging economy, en: Portland International Conference on Management of Engineering and Technology. Portland State University, pp. 280-286. <https://doi.org/10.1109/PICMET.2015.7273260>
- Soner, S., Önüt, S., 2006. MULTI-CRITERIA SUPPLIER SELECTION: AN ELECTRE-AHP APPLICATION. Journal of Engineering and Natural Sciences 110-120.
- Souder, W.E., Song, X.M., 1998. Analyses of U.S. and Japanese management processes associated with new product success and failure in high and low familiarity markets. Journal of Product Innovation Management 15, 208-223. [https://doi.org/10.1016/S0737-6782\(97\)00079-9](https://doi.org/10.1016/S0737-6782(97)00079-9)
- Spanos, Y.E., Voudouris, I., 2009. Antecedents and trajectories of AMT adoption: The case of Greek manufacturing SMEs. Research Policy 38, 144-155. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2008.09.006>
- Spath, D., Renz, K.-C., 2005. Technologiemanagement, en: Handbuch Technologie- und Innovationsmanagement. Gabler Verlag, pp. 229-246. [https://doi.org/10.1007/978-3-322-90786-8\\_13](https://doi.org/10.1007/978-3-322-90786-8_13)
- Specht, G., Beckmann, C., Amelingmeyer, J., 2002. F&E-Management: Kompetenz im



Innovationsmanagement. Schäffer-Poeschel Verlag.

- SPRI, 2020. Revisión intermedia de la Estrategia de Industria Inteligente / Basque Industry 4 . 0 en el marco del PCTI2030.
- SPRI, s. f. Basque Digital Innovation Hub - Basque industry [WWW Document]. URL <https://basqueindustry.spri.eus/en/basque-digital-innovation-hub/> (accedido 10.19.20).
- Stacey, G.S., Ashton, W.B., 2014. A structured approach to corporate technology strategy. undefined.
- Stacey, G.S., Ashton, W.B., 1990. A structured approach to corporate technology strategy. International Journal of Technology Management.
- Steensma, H.K., Fairbank, J.F., 1999. Internalizing external technology: A model of governance mode choice and an empirical assessment. Journal of High Technology Management Research 10, 1-35. [https://doi.org/10.1016/S1047-8310\(99\)80001-7](https://doi.org/10.1016/S1047-8310(99)80001-7)
- Steurer, J., 2011. The Delphi method: An efficient procedure to generate knowledge. Skeletal Radiology. <https://doi.org/10.1007/s00256-011-1145-z>
- Stojčić, M., Zavadskas, E.K., Pamučar, D., Stević, Ž., Mardani, A., 2019. Application of MCDM methods in sustainability engineering: A literature review 2008-2018. Symmetry 11. <https://doi.org/10.3390/sym11030350>
- Strauss, J.D., Radnor, M., 2004. Roadmapping for dynamic and uncertain environments. Research Technology Management 47, 51-57. <https://doi.org/10.1080/08956308.2004.11671620>
- Tadić, S., Zečević, S., Krstić, M., 2014. A novel hybrid MCDM model based on fuzzy DEMATEL, fuzzy ANP and fuzzy VIKOR for city logistics concept selection. Expert Systems with Applications 41, 8112-8128. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2014.07.021>
- Taha, Z., Rostam, S., 2012. A hybrid fuzzy AHP-PROMETHEE decision support system for machine tool selection in flexible manufacturing cell. Journal of Intelligent Manufacturing 23, 2137-2149. <https://doi.org/10.1007/s10845-011-0560-2>
- Tan, K.H., Noble, J., Sato, Y., 2008. Marginal Analysis Guided Technology Evaluation and Selection, en: 19th International Conference on Production Research.
- Taslicali, A.K., Ercan, S., 2006. The Analytic Hierarchy & The Analytic Network Processes In Multicriteria Decision Making: A Comparative Study. JOURNAL OF AERONAUTICS AND SPACE TECHNOLOGIES 2, 55-65.
- Tavana, M., Banerjee, S., 1995. Strategic Assessment Model (SAM): A Multiple Criteria Decision Support System for Evaluation of Strategic Alternatives. Decision Sciences. <https://doi.org/10.1111/j.1540-5915.1995.tb00840.x>
- Tavana, M., Zandi, F., Katehakis, M.N., 2013. A hybrid fuzzy group ANP-TOPSIS framework for assessment of e-government readiness from a CiRM perspective. Information and

- Management 50, 383-397. <https://doi.org/10.1016/j.im.2013.05.008>
- Technology Strategy Board, 2012. High Value Manufacturing 1-15.
- Teece, D.J., Pisano, G., Shuen, A., 2009. Dynamic capabilities and strategic management. Knowledge and Strategy 18, 77-116. [https://doi.org/10.1142/9789812796929\\_0004](https://doi.org/10.1142/9789812796929_0004)
- Teece, D.J., Pisano, G., Shuen, A., 1997. Dynamic capabilities and strategic management. Strategic Management Journal 18, 509-533. [https://doi.org/10.1142/9789812796929\\_0004](https://doi.org/10.1142/9789812796929_0004)
- Teixeira, Aurora A C, Mota, Luisa, Teixeira, A A C, Mota, L, 2012. A bibliometric portrait of the evolution, scientific roots and influence of the literature on university-industry links. <https://doi.org/10.1007/s11192-012-0823-5>
- Thor, J., Ding, S., Kamaruddin, S., 2013. Comparison of Multi Criteria Decision Making Methods From The Maintenance Alternative Selection Perspective. International Journal Of Engineering And Science (IJES) 2, 27-34.
- Thune, T., 2011. Success Factors in Higher Education-Industry Collaboration: A case study Of collaboration in the engineering field. Tertiary Education and Management 17, 31-50. <https://doi.org/10.1080/13583883.2011.552627>
- Tian, Q., Ma, J., Liang, J., Kwok, R.C.W., Liu, O., 2005. An organizational decision support system for effective R&D project selection. Decision Support Systems 39, 403-413. <https://doi.org/10.1016/j.dss.2003.08.005>
- Tipping, J.W., Zeffren, E., Fusfeld, A.R., 1995. Assessing the Value of Your Technology. Research-Technology Management 38, 22-39. <https://doi.org/10.1080/08956308.1995.11674292>
- Tiwari, M.K., Banerjee, R., 2001. A decision support system for the selection of a casting process using analytic hierarchy process. Production Planning and Control 12, 689-694. <https://doi.org/10.1080/09537280010016783>
- Todorova, G., Durisin, B., 2007. Absorptive capacity: Valuing a reconceptualization. Academy of Management Review. <https://doi.org/10.5465/AMR.2007.25275513>
- Tone, K., 2001. A slacks-based Measure of Super-Efficiency. National Graduate Institute for Policy studies, Tokyo.
- Tonge, R., Larsen, P., Roberts, M., 2000. Information systems investment within high-growth medium-sized enterprises. Management Decision 38, 489-497. <https://doi.org/10.1108/00251740010373494>
- Torkkeli, M., Tuominen, M., 2002. The contribution of technology selection to core competencies. International Journal of Production Economics 77, 271-284. [https://doi.org/10.1016/S0925-5273\(01\)00227-4](https://doi.org/10.1016/S0925-5273(01)00227-4)
- Tran, L.T., Knight, C.G., O'Neill, R. V., Smith, E.R., 2004. Integrated environmental assessment of the Mid-Atlantic region with analytical network process. Environmental Monitoring and

- Assessment 94, 263-277. <https://doi.org/10.1023/B:EMAS.0000016893.77348.67>
- Triantaphyllou, E., 2000. Multi-criteria Decision Making Methods A Comparative Study, en: Bussiness and mangement. [https://doi.org/10.1007/1-4020-7891-9\\_1](https://doi.org/10.1007/1-4020-7891-9_1)
- Tsai, W., 2001. Knowledge transfer in intraorganizational networks: Effects of network position and absorptive capacity on business unit innovation and performance. *Academy of Management Journal* 44, 996-1004. <https://doi.org/10.2307/3069443>
- Tscheikner-Gratl, F., Egger, P., Rauch, W., Kleidorfer, M., 2017. Comparison of multi-criteria decision support methods for integrated rehabilitation prioritization. *Water (Switzerland)* 9. <https://doi.org/10.3390/w9020068>
- Tschirky, H.P., 1994. The role of technology forecasting and assessment in technology management. *R&D Management* 24, 121-129. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9310.1994.tb00864.x>
- Tzeng, G.H., Huang, C.Y., 2012. Combined DEMATEL technique with hybrid MCDM methods for creating the aspired intelligent global manufacturing & logistics systems. *Annals of Operations Research* 197, 159-190. <https://doi.org/10.1007/s10479-010-0829-4>
- Tzeng, G.H., Teng, M.H., Chen, J.J., Opricovic, S., 2002. Multicriteria selection for a restaurant location in Taipei. *International Journal of Hospitality Management* 21, 171-187. [https://doi.org/10.1016/S0278-4319\(02\)00005-1](https://doi.org/10.1016/S0278-4319(02)00005-1)
- UNE, 2006. UNE 166000:2006 Gestión de la I+D+i: Terminología y definicion... [WWW Document]. URL <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0036141> (accedido 10.26.20).
- UNE 166006:2018 [WWW Document], 2018. URL <https://www.aenor.com/normas-y-libros/buscador-de-normas/une/?Tipo=N&c=N0059973> (accedido 6.30.20).
- UPV-EHU, s. f. MECANIZADO POR ARRANQUE DE VIRUTA. TEMA 16: MÁQUINAS hERRAMIENTA. Funciones, tipos y arquitecturas [WWW Document].
- Urrutia, J.A., Malo, J.L., Sorli, M.A., 2010. DESARROLLO DEL PLAN DE TECNOLOGÍA EN LA EMPRESA. *DYNA* 85, 687-702.
- Usme, J.Z., 2005. El concepto del riesgo ambiental y su evaluacion. *Revista Empresas Publicas de Medellin (Medellin)*.
- Vahdani, B., Zandieh, M., 2010. Selecting suppliers using a new fuzzy multiple criteria decision model: The fuzzy balancing and ranking method. *International Journal of Production Research* 48, 5307-5326. <https://doi.org/10.1080/00207540902933155>
- Vaidya, O.S., Kumar, S., 2006. Analytic hierarchy process : An overview of applications 169, 1-29. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2004.04.028>
- Vaillancourt, K., Waub, J.-P., 2004. EQUITY IN INTERNATIONAL GREENHOUSE GASES ABATEMENT SCENARIOS: A MULTICRITERION APPROACH. *European Journal of*

- Operational Research 153, 489–505.
- Valdés, M.G., Marín, M.S., 2013. El método Delphi para la consulta a expertos en la investigación científica. *Revista Cubana de Salud Publica* 39, 253-267.
- Valentim, L., Lisboa, J.V., Franco, M., 2016. Knowledge management practices and absorptive capacity in small and medium-sized enterprises: is there really a linkage? *R and D Management* 46, 711-725. <https://doi.org/10.1111/radm.12108>
- Van den Bosch, F.A.J., Volberda, H.W., Boer, M. de, 1999. Coevolution of Firm Absorptive Capacity and Knowledge Environment: Organizational Forms and Combinative Capabilities. *Organization Science* 10, 551-568. <https://doi.org/10.2307/2640317>
- van Notten, P.W.F., Rotmans, J., van Asselt, M.B.A., Rothman, D.S., 2003. An updated scenario typology. *Futures* 35, 423-443. [https://doi.org/10.1016/S0016-3287\(02\)00090-3](https://doi.org/10.1016/S0016-3287(02)00090-3)
- Vega - Jurado, J., Fernández De Lucio, I., Vega-Jurado, J., Gutie´rrezgutie´rrez-Gracia, A., Fernándeźferna´ndez-De-Lucio, I., 2008. Analyzing the determinants of firm’s absorptive capacity: beyond R&D. *R & D Management*. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9310.2008.00525.x>
- Veisi, H., Liaghati, H., Alipour, A., 2016. Developing an ethics-based approach to indicators of sustainable agriculture using analytic hierarchy process (AHP). *Ecological Indicators* 60, 644-654. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.08.012>
- Velasquez, M., Hester, P.T., 2013. An Analysis of Multi-Criteria Decision Making Methods. *International Journal of Operations Research* 10, 56-66. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-12586-2>
- Verhoeven, D., Bakker, J., Veugelers, R., 2016. Measuring technological novelty with patent-based indicators. *Research Policy* 45, 707-723. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2015.11.010>
- Veugelers, R., 1997. Internal R&D expenditures and external technology sourcing. *Research Policy* 26, 303-315. [https://doi.org/10.1016/s0048-7333\(97\)00019-x](https://doi.org/10.1016/s0048-7333(97)00019-x)
- Viñolas, B., Cortés, F., Marques, A., Josa, A., Aguado, A., 2009. MIVES: Modelo integrado de valor para evaluaciones de sostenibilidad. *II Congrés Internacional de Mesura i Modelització de la Sostenibilitat* 1-24.
- Vishnevskiy, K., Karasev, O., Meissner, D., 2015. Integrated roadmaps and corporate foresight as tools of innovation management: The case of Russian companies. *Technological Forecasting and Social Change*. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2014.04.011>
- Volberda, H.W., Foss, N.J., Lyles, M.A., 2010. Absorbing the concept of absorptive capacity: How to realize its potential in the organization field. *Organization Science* 21, 931-951. <https://doi.org/10.1287/orsc.1090.0503>
- Wang, C. hsien, Lu, I. yuan, Chen, C. bein, 2008. Evaluating firm technological innovation

- capability under uncertainty. *Technovation* 28, 349-363.  
<https://doi.org/10.1016/j.technovation.2007.10.007>
- Wang, J.J., Yang, D.L., 2007. Using a hybrid multi-criteria decision aid method for information systems outsourcing. *Computers and Operations Research* 34, 3691-3700.  
<https://doi.org/10.1016/j.cor.2006.01.017>
- Wang, Y.L., Tzeng, G.H., 2012. Brand marketing for creating brand value based on a MCDM model combining DEMATEL with ANP and VIKOR methods. *Expert Systems with Applications* 39, 5600-5615. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.11.057>
- Wang, Y.M., Chin, K.S., 2009. A new approach for the selection of advanced manufacturing technologies: DEA with double frontiers. *International Journal of Production Research* 47, 6663-6679. <https://doi.org/10.1080/00207540802314845>
- Ward, V., House, A., Hamer, S., 2009. Developing a framework for transferring knowledge into action: A thematic analysis of the literature. *Journal of Health Services Research and Policy* 14, 156-164. <https://doi.org/10.1258/jhsrp.2009.008120>
- Warfield, J.N., 1974. Developing Interconnection Matrices in Structural Modeling. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics SMC-4*, 81-87.  
<https://doi.org/10.1109/TSMC.1974.5408524>
- Weyer, S., Schmitt, M., Ohmer, M., Gorecky, D., 2015. Towards Industry 4.0-Standardization as the crucial challenge for highly modular, multi-vendor production systems. *Ifac-Papersonline* 48, 579-584.
- Willyard, C.H., McClees, C.W., 1987. Motorola's Technology Roadmap Process. *Research Management* 30, 13-19. <https://doi.org/10.1080/00345334.1987.11757057>
- Wohlers, T., 2009. Wohler's Report 2009. Wohlers Associates, Inc., (OakRidge Business Park, 1511 River Oak Drive, Fort Collins, Colorado 80525).
- Wong, G., Greenhalgh, T., Westhorp, G., Buckingham, J., Pawson, R., 2013. RAMESES publication standards: Meta-narrative reviews. *BMC Medicine* 11.  
<https://doi.org/10.1186/1741-7015-11-20>
- Worthen, B.R., Sanders, J.R., 1987. *Educational Evaluation: Alternative Approaches and Practical Guidelines*, en: New York: Longman.
- Wright, M., Clarysse, B., Lockett, A., Knockaert, M., 2008. Mid-range universities' linkages with industry: Knowledge types and the role of intermediaries. *Research Policy* 37, 1205-1223.  
<https://doi.org/10.1016/j.respol.2008.04.021>
- Wu, J., Olk, P., 2014. Technological advantage, alliances with customers, local knowledge and competitor identification. *Journal of Business Research* 67, 2106-2114.  
<https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2014.04.019>
- Wu, X., Li, L., Zhao, M., He, N., 2016. Experimental investigation of specific cutting energy and

- surface quality based on negative effective rake angle in micro turning. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 82, 1941-1947. <https://doi.org/10.1007/s00170-015-7548-6>
- Xu, H., Wang, C., Dong, K., Luo, R., Yue, Z., Pang, H., 2020. A study of methods to identify industry-university-research institution cooperation partners based on innovation Chain theory. *Journal of Data and Information Science* 3, 38-61. <https://doi.org/10.2478/jdis-2018-0008>
- Yang, C.L., Chuang, S.P., Huang, R.H., 2009. Manufacturing evaluation system based on AHP/ANP approach for wafer fabricating industry. *Expert Systems with Applications* 36, 11369-11377. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2009.03.023>
- Yap, C.M., Souder, W.E., 1993. A filter system for technology evaluation and selection. *Technovation* 13, 449-469. [https://doi.org/10.1016/0166-4972\(93\)90028-T](https://doi.org/10.1016/0166-4972(93)90028-T)
- Yayla, N., Karacasu, M., 2011. A decision support model to incorporate public and expert opinions for assessing the privatization of public bus transit system: Application of ELECTRE for the bus system in Eskisehir, Turkey. *Scientific Research and Essays* 6, 4657-4664. <https://doi.org/10.5897/sre11.1289>
- Yoon, D., 2018. The expected effect analysis for the government R&D investment of research equipment. *Polish Journal of Management Studies* 17, 260-272. <https://doi.org/10.17512/pjms.2018.17.1.21>
- Yoon, D., 2017. The effect analysis of the research results on the spatial concentration and utilization sharing of research equipment. *International Journal of Engineering Business Management* 9. <https://doi.org/10.1177/1847979017710350>
- Yu, J., Rombouts, M., Maes, G., Motmans, F., 2012. Material Properties of Ti6Al4 v Parts Produced by Laser Metal Deposition. *Physics Procedia* 39, 416-424. <https://doi.org/10.1016/j.phpro.2012.10.056>
- Yurdakul, M., 2002. Measuring a manufacturing system's performance using Saaty's system with feedback approach. *Integrated Manufacturing Systems* 13, 25-34. <https://doi.org/10.1108/09576060210411486>
- Yurdakul, M., Iç, Y.T., 2005. Development of a performance measurement model for manufacturing companies using the AHP and TOPSIS approaches. *International Journal of Production Research* 43, 4609-4641. <https://doi.org/10.1080/00207540500161746>
- Zahra, S.A., Chaples, S.S., 1993. Blind spots in competitive analysis. *Academy of Management Perspectives* 7, 7-28. <https://doi.org/10.5465/ame.1993.9411302318>
- Zahra, S.A., George, G., 2002. Absorptive Capacity: A Review, Reconceptualization, and Extension. *The Academy of Management Review* 27, 185. <https://doi.org/10.2307/4134351>

- Zahra, S.A., George, G., 2000. ABSORPTIVE CAPACITY: A REVIEW AND RECONCEPTUALIZATION. *Academy of Management Proceedings* 2000, K1-K6. <https://doi.org/10.5465/apbpp.2000.5438568>
- Zapata, G., Hernández, A., 2018. Absorptive capacity: a literature review and a model of its determinants 8, 119-137.
- Zartha, J.W., Zuluaga, D.F., Palacio, J.C., Montes, J.M., 2017. Ciclo de vida de tecnologías y curvas en S aplicadas en subproductos de la agroindustria piscícola. *Informacion Tecnologica* 28, 105-114. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642017000200012>
- Zavadskas, E.K., Kaklauskas, A., 1996. Determination of an efficient contractor by using the new method of multicriteria assessment, en: *International Symposium for "The Organisation and Management of Construction, Shaping Theory and Practice, Vol. 2, Managing the Construction Project and Managing Risk*.
- Zavadskas, E.K., Turskis, Z., Vilutiene, T., 2010. Multiple criteria analysis of foundation instalment alternatives by applying Additive Ratio Assessment (ARAS) method. *Archives of Civil and Mechanical Engineering* 10, 123-141. [https://doi.org/10.1016/s1644-9665\(12\)60141-1](https://doi.org/10.1016/s1644-9665(12)60141-1)
- Zhang, Guiqing, Dong, Y., Xu, Y., 2012. Linear optimization modeling of consistency issues in group decision making based on fuzzy preference relations. *Expert Systems with Applications* 39, 2415-2420. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.08.090>
- Zhang, Guoquan, Shang, J., Li, W., 2012. An information granulation entropy-based model for third-party logistics providers evaluation. *International Journal of Production Research* 50, 177-190. <https://doi.org/10.1080/00207543.2011.571453>
- Zhang, H., Li, X., Liu, W., 2006. An AHP/DEA methodology for 3PL vendor selection in 4PL, en: *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*. pp. 646-655. [https://doi.org/10.1007/11686699\\_65](https://doi.org/10.1007/11686699_65)
- Zhang, Y., Guo, Y., Wang, X., Zhu, D., Porter, A.L., 2013. A hybrid visualisation model for technology roadmapping: Bibliometrics, qualitative methodology and empirical study. *Technology Analysis and Strategic Management* 25, 707-724. <https://doi.org/10.1080/09537325.2013.803064>
- Zhang, Y., Robinson, D.K.R., Porter, A.L., Zhu, D., Zhang, G., Lu, J., 2016. Technology roadmapping for competitive technical intelligence. *Technological Forecasting and Social Change* 110, 175-186. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2015.11.029>
- Zhong, C., Liu, J., Zhao, T., Schopphoven, T., Fu, J., Gasser, A., Schleifenbaum, J.H., 2020. Laser metal deposition of Ti6Al4V-A brief review. *Applied Sciences (Switzerland)* 10, 1-12. <https://doi.org/10.3390/app10030764>
- Zhu, G.N., Hu, J., Qi, J., Gu, C.C., Peng, Y.H., 2015. An integrated AHP and VIKOR for design

concept evaluation based on rough number. *Advanced Engineering Informatics* 29, 408-418. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2015.01.010>

Zirger, B.J., Maidique, M.A., 1990. A Model of New Product Development: An Empirical Test. *Management Science* 36, 867-883. <https://doi.org/10.1287/mnsc.36.7.867>

Zolfani, S.H., Saparauskas, J., 2014. New Application of SWARA Method in Prioritizing Sustainability Assessment Indicators of Energy System. *Engineering Economics* 24, 408-414. <https://doi.org/10.5755/j01.ee.24.5.4526>

Zubizarreta, M., Cuadrado, J., Iradi, J., Garc??a, H., Orbe, A., 2017. Innovation evaluation model for macro-construction sector companies: A study in Spain. *Evaluation and Program Planning* 61, 22-37. <https://doi.org/10.1016/j.evalprogplan.2016.10.014>



## Capítulo 8

---

### **ANEXO: Cuestionario para el panel de expertos según método DELPHI**

## 8 Anexos

### 8.1 Anexo A: Cuestionario primera iteración DELPHI

Estimado ,

Tal como te he adelantado por teléfono, estamos llevando a cabo un trabajo de investigación encaminado a desarrollar un modelo que pueda ayudar, en primer lugar a centros tecnológicos, pero posiblemente también a universidades y empresas, en la toma de decisión sobre la adopción de una nueva tecnología para incluirla en los planes de investigación y desarrollo del centro.

Estamos dando forma a un modelo que trate de tener en cuenta todos los factores que rodean a una decisión así, que no son sólo tecnológicos, sino de capacidad, mercado, acceso a clientes, etc...

Como primera acción para la identificación de esos factores a valorar, hemos llevado a cabo un análisis bibliográfico, para tomar referencias de otros autores. Hemos recopilado los factores más repetidos, y los hemos integrado en conceptos, en un número más reducido. Además, los hemos estructurado en niveles de detalle, tal como verás en el cuestionario adjunto.

Algunas consideraciones que te adelanto para tratar de facilitar tu labor:

1. Para que te sitúes en el escenario de valoración, debes ponerte en la posición de un centro tecnológico (como Ideko, Tekniker, Tecnalia...) que esté valorando si incorporar a su cartera de tecnologías una nueva (por ejemplo, en su momento, fabricación aditiva, o ahora cloud computing o data analytics. Por poner unos ejemplos). Entendemos, tal como te he adelantado, que para la toma de decisión hay que tener en cuenta muchos factores relacionados con la propia tecnología y con cómo se adecúa al centro: sus capacidades, el equipamiento, las posibilidades de transferir esa tecnología a sus clientes, las oportunidades de financiación, etc....
2. El cuestionario está estructurado en tres bloques que creemos que hay que tener en cuenta:
  - a. Factores-características propias de la tecnología
  - b. Factores-características propias del centro tecnológico
  - c. Factores-características propias de los potenciales clientes del centro.

La primera cuestión que quiero que me des tu opinión es ésta:

PRIMERA CUESTIÓN (la verás incluida en la primera pestaña del cuestionario):  
¿te parece correcto estructurar en estos tres bloques? ¿Crees que habría que tener en cuenta algún bloque más? quizá para responder a esta pregunta es

bueno que veas todo el contenido del cuestionario, para ver los factores que se incluyen en cada bloque.

3. El cuestionario está configurado en Excel, en tres pestañas, cada una de ellas contiene el cuestionario de uno de los tres bloques arriba indicados a, b, c.

4. Cada cuestionario se estructura en forma de árbol, en tres niveles, como ves en el ejemplo de una de las pestañas, a continuación:

NIVEL 1	NIVEL 2	Valoración	NIVEL 3	Valoración	
FACTORES PROPIOS DE LA TECNOLOGÍA	MADUREZ		TRL - Ciclo de desarrollo		
			Nivel de novedad		
	RELEVANCIA			Competitividad, valor añadido	
				Alcance, potencial de extensión	
				Originalidad	
				Patentabilidad	
	MERCADO			Relación con tecnologías disponibles	
				Dimensión	
				Potencial de comercialización	
				Bareras de mercado	
				Competencia	
	REGULACIÓN			Regulación legal	
				Regulación sanitaria	
	RIESGOS			Riesgos comerciales	
				Riesgos Económicos	
Riesgos Técnicos					
Eliminarias algún factor: cuál, por qué (opcional)					
Fusionarias algún factor: cuál, por qué (opcional)					
Añadirías algún factor nuevo: cuál, por qué (opcional)					
¿Consideras adecuada la estructura inicial en "factores propios de la tecnología", "factores propios del centro tecnológico" y "factores propios de los clientes del centro tecnológico"?					
¿Crees que habría que tener en cuenta algún bloque más o reformular alguno?					

Breve descripción de cada factor
MADUREZ: representa el nivel de novedad o madurez que presenta la tecnología en el momento de ser evaluada. Se trata de representar por los factores TRL-ciclo de desarrollo, nivel de novedad.
RELEVANCIA: representa el valor añadido, competitividad, originalidad que presenta la tecnología frente a otras. Se representa por los factores competitividad-valor añadido, potencial de extensión (a diferentes áreas, productos, mercados), originalidad, patentabilidad, relación con tecnologías ya existentes
MERCADO: representa el atractivo del mercado en el que puede explotarse (o se está explotando) la tecnología, representado por su dimensión, las barreras de entrada, el acceso a comercialización y la competencia.
REGULACIÓN: representa los factores de regulación legal que pueden afectar (limitar) a la aplicación de la tecnología
RIESGOS: representa los riesgos inherentes a la aplicación de la tecnología: comerciales, económicos, tecnológicos

Esta forma de árbol es jerárquica, esto es, los factores de un nivel derivan de los del anterior. Y la forma de valorarlos-compararlos es por bloques. Por ejemplo:

- “Madurez”, “relevancia”, “mercado”, “regulación” y “riesgos” son los factores que componen o caracterizan “factores propios de la tecnología”. Están por tanto en el mismo nivel, y se comparan entre ellos.
- “TRL-ciclo de desarrollo” y “nivel de novedad” son los factores que componen o caracterizan “madurez”, mientras que “Competitividad-valor añadido”, “Alcance-potencial de extensión”, “originalidad”, “patentabilidad” y “relación con tecnologías disponibles” son los factores que componen “relevancia”. Por tanto, se comparan en esos grupos, esto es, “TRL-ciclo de desarrollo” y “nivel de novedad” se comparan entre ellos, pero no con los demás.

5. Verás que en la parte de debajo del cuestionario están las tres preguntas abiertas, para que proporciones tu opinión.

6. A partir de estas consideraciones, el trabajo que te pido es:

- Valora, según tu opinión, en orden de importancia (1,2,3,4...), partiendo del valor 1 para el factor que consideres más relevante, dentro de cada bloque.
- Si consideras que varios factores tienen la misma importancia, asígnales el mismo valor.
- Si consideras que algún valor no es relevante o no es adecuado, no lo valores y, por favor, explica en los cuadros inferiores tus razones.

d. Aunque hayas dado puntuación a todos los valores, responde, por favor, a las pregunta de debajo.

7. Una consideración adicional para tu valoración y la respuesta a las preguntas: el número de factores que hemos incluido, tanto en el nivel 3 como en el nivel 2 es más elevado que el que creemos debe configurar el panel final. El modelo que vamos a aplicar recomienda un número inferior. Sin embargo, hemos querido proporcionar una lista más abierta para dejar espacio a las opiniones del panel de expertos del que formas parte. Para esa reducción de factores tendremos en cuenta, en primer lugar, vuestras respuestas directas y, en segundo lugar, las puntuaciones que otorguéis a los distintos factores.

Completando este cuestionario habremos completado la primera fase del trabajo. Una vez recopilemos todas las opiniones, las procesaremos y os comunicaremos los resultados y, realizaremos una segunda ronda de opinión, para corroborar, o no, las propuestas que os enviemos.

Gracias por tu colaboración y, para cualquier aclaración, escíbeme o llámame al 605775412

Un saludo

Rafa

## 8.2 Anexo B: Cuestionario segunda iteración DELPHI

Estimado ,

En primer lugar, quería agradecerte tu colaboración en este proceso de selección de factores para configurar nuestro modelo para la evaluación y selección de tecnologías. Hemos cerrado la primera fase del proceso Delphi con la recepción de los cuestionarios completados por los 14 expertos que configuráis el panel.

Me gustaría compartir contigo el resultado de análisis que hemos realizado de vuestras propuestas, las conclusiones que hemos obtenido y la propuesta de modificación de factores, para tu consideración. Con esta segunda ronda queremos ir acercándonos al consenso, para que el proceso resulte lo más ágil posible para vosotros.

Para ello, ayudado de los siguientes pantallazos obtenidos de los cuestionarios, voy a ir sometiendo a tu opinión las modificaciones que proponemos a partir del análisis de vuestras respuestas recopiladas en la ronda anterior.

Te traslado las propuestas por cada nivel del cuestionario:

### **NIVEL 1:**

Los expertos habéis mostrado un **consenso total** sobre mantener los tres bloques:

- Factores propios de la tecnología
- Factores del centro tecnológico
- Factores de los clientes del centro tecnológico

### **NIVEL 2:**

#### factores propios de la tecnología:

Como ves en la figura, hay factores tachados en rojo y otros en naranja. Los tachados en rojo son aquellos que se ha sugerido eliminar mayoritariamente por los expertos, por lo que, en caso de no haber varias opiniones contrarias, lo consideramos eliminado, y los marcados en naranja, han tenido varias opiniones proponiendo su eliminación y, tras analizar las opiniones, proponemos en esta segunda fase eliminarlo.

NIVEL 1	NIVEL 2	Valoración	NIVEL 3	Valoración	
FACTORES PROPIOS DE LA TECNOLOGÍA	MADUREZ		TRL - Ciclo de desarrollo		
			Nivel de novedad		
	RELEVANCIA			Competitividad, valor añadido	
				Alcance, potencial de extensión	
				Originalidad	
				Patentabilidad	
				Relación con tecnologías disponibles	
	MERCADO			Dimensión	
				Potencial de comercialización	
				Barreras de mercado	
				Competencia	
	REGULACION			Regulación legal	
				Regulación seguridad	
				Regulación medioambiental	
	RIESGOS			Riesgos comerciales	
Riesgos Económicos					
Riesgos Técnicos					

A continuación te resumo el análisis de cada factor, y la propuesta al respecto, para recabar tu opinión.

Factor	Análisis tras la primera ronda	Propuesta
REGULACIÓN	<ul style="list-style-type: none"> <li>Seis expertos han propuesto eliminarlo, ya que no ven claramente su influencia, excepto en casos muy particulares, de tecnologías que puedan incorporar aspectos de medioambiente o riesgo para las personas.</li> <li>Dos expertos lo ven complejo de interpretar, ya que la regulación puede ser un factor favorable o limitador, por lo que su valoración no es evidente.</li> </ul>	SE ELIMINA
Tu opinión respecto a la propuesta		

Factor	Análisis tras la primera ronda	Propuesta
Nivel de novedad	Cinco opiniones proponen eliminarlo porque no consideran redundante con TRL – ciclo de desarrollo y “novedad”	SE PROPONE ELIMINARLO
Tu opinión respecto a la propuesta		

Factor	Análisis tras la primera ronda	Propuesta
competitividad-valor añadido	Mayoritariamente considerado como que no es un factor de la tecnología, sino de su encaje con el centro y la empresa, dependiendo más de éstos	SE ELIMINA
Tu opinión respecto a la propuesta		

Factor	Análisis tras la primera ronda	Propuesta
potencial de comercialización	Varias opiniones defienden que es redundante con “potencial de extensión” y éste es más claro en su relación con la tecnología	SE PROPONE ELIMINARLO
Tu opinión respecto a la propuesta		

Factor	Análisis tras la primera ronda	Propuesta
Barreras de mercado	Varias opiniones consideran que no es factor de la tecnología, sino del centro y las empresas	SE PROPONE ELIMINARLO
Tu opinión respecto a la propuesta		

Factor	Análisis tras la primera ronda	Propuesta
Riesgos comerciales	varias opiniones indican que los riesgos tecnológicos si son intrínsecos para	SE PROPONE

	la caracterización de la propia tecnología, mientras que los riesgos comerciales y económicos se valoran entre los factores del centro y las empresas.	ELIMINARLO
Tu opinión respecto a la propuesta		

Factor	Análisis tras la primera ronda	Propuesta
Riesgos económicos	varias opiniones indican que los riesgos tecnológicos si son intrínsecos para la caracterización de la propia tecnología, mientras que los riesgos comerciales y económicos se valoran entre los factores del centro y las empresas.	SE PROPONE ELIMINARLO
Tu opinión respecto a la propuesta		

Por otra parte, los expertos de empresa han **propuesto incluir un indicador** que refleje el efecto favorable de **la existencia de nichos de especialización** en el mercado, ya que es una estrategia del sector del Manufacturing y la Máquina-Herramienta vascos.

PREGUNTA: ¿estás de acuerdo con esta propuesta?

### Factores del Centro Tecnológico

Como en el caso anterior, te presento primero la figura resumen, y después te traslado las propuestas para tu valoración.

NIVEL 1	NIVEL 2	Valoración	NIVEL 3	Valoración	
FACTORES PROPIOS DEL CENTRO TECNOLÓGICO	FACTOR HUMANO		Implicación Impacto en empleados		
	CAPACITACIÓN		Experiencia previa		
			Disponibilidad de equipo +D		
	EQUIPAMIENTO		Capacitación técnica		
			Disponibilidad de equipamiento		
	ESTRATEGIA		Valor del equipamiento		
			Alineación con estrategia		
	COSTES		Orientación a la innovación		
			Implicación de la dirección		
	TIMING		Factor financiero		
			Coste de desarrollo		
	SATISFACCIÓN DEL CLIENTE			Satisfacción del cliente	
	BENEFICIOS			Incremento de volumen de negocio	
POSICIONAMIENTO			Acceso a nuevos mercados		
			Competitividad y marca		
ACCESO AL MERCADO			Propiedad intelectual		
			Capacidad tecnológica		

Factor	Análisis tras la primera ronda	Propuesta
FACTOR HUMANO	Varias opiniones consideran que el factor humano es relevante siempre en una organización, pero no le ven relación con la decisión sobre una tecnología.	SE PROPONE ELIMINARLO
Tu opinión respecto a la propuesta		

Factor	Análisis tras la primera ronda	Propuesta
SATISFACCIÓN DEL CLIENTE	Se considera mayoritariamente como un resultado del desarrollo e industrialización, no como un factor de selección. Varias opiniones dicen "no sirve para valorar porque siempre tendrá valor máximo, sea cual sea la tecnología"	SE ELIMINA
Tu opinión respecto a la propuesta		

Factor	Análisis tras la primera ronda	Propuesta
BENEFICIOS	Recibe la misma valoración que el anterior	SE ELIMINA
Tu opinión respecto a la propuesta		

Factor	Análisis tras la primera ronda	Propuesta
POSICIONAMIENTO	Recibe la misma valoración que los anteriores	SE ELIMINA
Tu opinión respecto a la propuesta		

Factor	Análisis tras la primera ronda	Propuesta
Impacto en empleados	Si bien ya hemos adelantado que el nivel 2: "factor humano" se proponer eliminar, en este caso la propuesta es mayoritaria en el sentido de considerar que es difícilmente relacionable este factor con una u otra tecnología	SE ELIMINA
Tu opinión respecto a la propuesta		

Factor	Análisis tras la primera ronda	Propuesta
disponibilidad de equipo I+D	Unánimemente se propone eliminar. Se considera que no es cuestionable en un centro tecnológico	SE ELIMINA
Tu opinión respecto a la propuesta		

Factor	Análisis tras la primera ronda	Propuesta
Valor del equipamiento	Varios expertos no ven clara su interpretación a la hora de tenerlo que valorar	SE PROPONE ELIMINA
Tu opinión respecto a la propuesta		

Factor	Análisis tras la primera ronda	Propuesta
Orientación a la innovación	Unánimemente se considera obvio en un centro tecnológico	SE ELIMINA
Tu opinión respecto a la propuesta		

Factor	Análisis tras la primera ronda	Propuesta
Implicación de la dirección	Varios expertos coinciden en que puede ser redundante con "encaje con la estrategia", ya que la estrategia está marcada por la dirección, por tanto un encaje alto conllevará una implicación de la dirección.	SE PROPONE ELIMINAR
Tu opinión respecto a la propuesta		

Factor	Análisis tras la primera ronda	Propuesta
Factor financiero	Se considera que es un factor que influirá igual para cualquier tecnología, sí siendo diferenciador el "coste de desarrollo" que implique una u otra tecnología	SE ELIMINA
Tu opinión respecto a la propuesta		

Por otra parte, todos los expertos de empresa y varios de los agentes tecnológicos han **propuesto incluir un factor** que refleje la **capacidad de acceso al mercado** del centro tecnológico. Las dudas se han reflejado con preguntas como ¿qué pasa si una tecnología muy interesante no tiene mercado en el campo de actuación del centro? O



¿qué pasa si el centro tecnológico no tiene un acceso fácil a los clientes y mercados naturales de la tecnología?.

PREGUNTA: ¿estás de acuerdo con esta propuesta?

### Valoración de los factores de los clientes potenciales

Como en los casos anteriores, te presento primero la figura resumen, y después te traslado las propuestas para tu valoración.

NIVEL 1	NIVEL 2	Valoración	NIVEL 3	Valoración	
FACTORES PROPIOS DE LOS CUENTES POTENCIALES	ESTRATEGIA		Alineación con la estrategia		
			Estrategia Tecnológica		
	CAPACITACIÓN			Implicación de la dirección	
				Capacitación del equipo técnico	
				Experiencia previa	
	EQUIPAMIENTO			Capacidades de I+D	
				Medios de producción adecuados	
	COSTES			Costes de desarrollo	
				Costes de comercialización	
	TIMING			Tiempo de implementación	
				Plazo de comercialización	
	<del>PRODUCTIVIDAD</del>			Mejora de productividad	
	<del>BENEFICIOS</del>			Incremento de volumen de negocio	
<del>POSICIONAMIENTO COMPETITIVO</del>			Acceso a nuevos mercados		
			Competitividad y marca		
			Propiedad Intelectual		

Respecto al nivel 2, la valoración es análoga a la realizada para el centro tecnológico: si se incluyen estos factores, siempre serán valorados con el máximo, con lo que no sirven para diferenciar una tecnología de otra.

- SE ELIMINA el factor PRODUCTIVIDAD.

PREGUNTA: ¿estás de acuerdo?

- SE ELIMINA el factor BENEFICIOS.

PREGUNTA: ¿estás de acuerdo?

- SE ELIMINA el factor POSICIONAMIENTO

PREGUNTA: ¿estás de acuerdo?

Factor	Análisis tras la primera ronda	Propuesta
Estrategia tecnológica	Mayoritariamente no se entiende cómo valorar este factor	SE ELIMINA
Tu opinión respecto a la propuesta		

Factor	Análisis tras la primera ronda	Propuesta
Alineación con la estrategia	Varios expertos proponen fusionar éste con el siguiente o dejar simplemente éste como "encaje con la estrategia", tal como está en el caso del centro tecnológico	SE REFORMULA como "encaje con la estrategia"
Tu opinión respecto a la propuesta		



Factor	Análisis tras la primera ronda	Propuesta
Capacidades de I+D	Varios expertos entienden que no aporta información respecto a los dos que le acompañan "capacitación" y "experiencia".	SE PROPONE ELIMINAR
Tu opinión respecto a la propuesta		