

NUEVO MODELO PARA DIAGNOSTICAR LA APROPIACIÓN DE INTERFACES INDUSTRIALES
DESDE LA PERSPECTIVA DE LA INTERACCIÓN Y PERCEPCIÓN DE USUARIO

MAITANE MAZMELA ETXABE

Director de Tesis:

Ganix Lasa Erle



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

Departamento de Ingeniería mecánica y energía eléctrica

Mondragon Unibertsitatea

09 2020

DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD

Se declara que esta tesis y el trabajo presentado en ella con sus resultados fueron realizados en su totalidad por la autora Maitane Mazmela, en el Departamento de Mecánica y Producción Industrial de la Escuela Politécnica Superior de Mondragon Unibertsitatea.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Diseinu Berrikuntza Zentroa (DBZ) de Mondragon Unibertsitatea (MU) y a Mondragon Goi Eskola Politeknikoa (MGEP) la oportunidad ofrecida y los recursos dedicados para el desarrollo de esta tesis doctoral. A todos los que formáis parte de este equipo, sobre todo a mi director Ganix Lasa. Eres un excelente profesional capaz de sacar siempre lo mejor de las personas.

Aita, ama, habéis estado muy presentes en esta tesis. Gracias por vuestra generosidad y ayuda incondicional. Pedro, Patxi, Matias y Axun por estar siempre presentes y darme tanta fuerza. Danel y Joseba, por todos los momentos compartidos y esas conversaciones tan necesarias sin ningún tipo de relación con esta tesis doctoral. Peru, qué suerte finalizar esta etapa a tu lado, gracias por darme tantas alegrías. Y por último a la estrellita que está por llegar, gracias de corazón.

RESUMEN

Las nuevas tendencias de la Industria 4.0 se centran en la importancia de la colaboración persona-máquina, promoviendo una cooperación más estrecha entre ambos y fomentando el uso eficiente tanto de las máquinas como de las personas en un entorno cooperativo (Michael Rada, 2015). En este contexto, el trabajo humano asume un papel crucial dentro de las fábricas inteligentes, especialmente cuando se requieren tareas de alta precisión (Hadorn, Courant, & Hirsbrunner, 2015). Aun así, este panorama coincide con un salto generacional importante respecto a la familiarización tecnológica, donde en una misma sociedad coinciden usuarios con una capacidad de adaptación tecnológica distinta. Además, la asimilación de las nuevas propuestas por parte de las personas se está efectuando a un ritmo que muchas veces no coincide con la velocidad y capacidad evolutiva de la tecnología. Como consecuencia, la apropiación tecnológica es determinante, siendo necesario dotar a las personas de las competencias y habilidades necesarias para aprovechar el proceso de transformación de la estructura productiva y de las empresas (López Sintas, Souto Nieves, & Van Hemmen, 2018).

En este marco, donde se considera necesario integrar los factores humanos en los contextos industriales informatizados y digitales, es necesario crear soluciones adaptadas a las personas con diferentes habilidades, capacidades y preferencias. Así, las trabajadoras y trabajadores estarán más motivados y serán más productivos, consiguiendo mejores valores en términos de desempeño individual. Además, las soluciones diseñadas deberán contribuir al bienestar del trabajo, aumentando la satisfacción, la motivación y el compromiso de las personas. El objetivo se basa en mejorar el rendimiento y la organización de las fábricas.

Con el objetivo de garantizar el proceso de apropiación y mejorar la interacción entre interfaces industriales y personas, esta investigación presenta el modelo ITPX (*Individual Task Performance Experience*) como propuesta de modelo teórico para diagnosticar la adecuación de HMIs industriales y evaluar la consecución de tareas en términos de desempeño individual y la Experiencia de Usuario (UX). Este nuevo modelo permite realizar un análisis holístico de la interacción entre el operario y la solución digital, de forma que integra el enfoque experiencial junto al enfoque pragmático. Dicho de otra forma, el modelo permite conocer en qué medida consiguen aumentar la eficiencia y eficacia en el trabajo las soluciones digitales que ayudan a los

operarios a realizar las tareas encomendadas de forma ágil y satisfactoria y que ayudan a mejorar la experiencia de uso y el desempeño individual.

El desarrollo del modelo se ha realizado a partir de tres temáticas de trabajo, (i) el valor de ajuste TTF para evaluar la relación entre las capacidades del sistema y las demandas de la tarea, el (ii) análisis cuantitativo de la ejecución de tareas, donde se recoge el tiempo de compleción de las actividades y la cantidad de errores cometidos por los operarios, y finalmente, (iii) la percepción de uso de los operarios, integrando la visión experiencial al nuevo modelo. La integración de estos tres enfoques es el punto diferencial respecto a los modelos existentes.

La fase experimental de esta investigación se ha desarrollado mediante cinco casos de estudio donde se han analizado 7 interfaces industriales de uso real. La validación del modelo se ha llevado a cabo en el laboratorio de interacción ULAB de Mondragon Unibertsitatea.

Los hallazgos muestran que el modelo ITPX ayuda a diagnosticar la adecuación de interfaces industriales, proponiendo un procedimiento que ayuda a analizar el impacto de las soluciones digitales en la consecución de tareas y la percepción de usuario. De esta forma, las empresas manufactureras podrán conocer la implicación que tiene la integración de ciertas interfaces industriales en sus compañías, de forma que les ayudará a optimizar procesos, mejorar la calidad y la productividad.

El documento recoge el proceso para el desarrollo del modelo ITPX. En el primer capítulo, una vez descrito el objeto de la tesis y contextualizada la temática, se listan las hipótesis y los objetivos de la investigación, junto a la metodología de investigación empleada. El capítulo dos incluye el enmarque científico-tecnológico y el análisis crítico del estado del arte, donde se discuten las posibles contribuciones y oportunidades de investigación identificadas. Se constituye a través de ocho capítulos subcapítulos. En el tercer capítulo, se presenta el método ITPX. Se describe la base teórica utilizada para su creación y las claves y elementos que componen el nuevo modelo. En el cuarto capítulo, se expone el desarrollo y la validación del modelo mediante cinco casos de estudio y se propone el ITPX Indicator. En el último capítulo, se muestran las conclusiones y se validan las hipótesis de partida planteadas. Además, se describen las aportaciones más relevantes de la investigación. Por otro lado, se listan las publicaciones realizadas en diferentes congresos, libros y revistas indexadas. Por último, se indican las limitaciones y se sugieren futuras líneas de investigación.

Las aportaciones más relevantes derivadas de este trabajo de investigación son:

- Nuevo modelo para el diagnóstico de interfaces industriales denominado ITPX.
- Listado de verificación para el cálculo del valor TTF de una interfaz industrial, de forma que evalúa la capacidad de la interfaz industrial para apoyar una tarea.
- ITPX indicator, el cual recoge el éxito de la interfaz industrial.

LABURPENA

Pertsona eta makinaren arteko kolaborazioan oinarritzen dira Industria 4.0-ko tendentzia berriak. Tendentzia hauek, makina zein pertsonen erabilera efizientea lortzea eta beraien arteko kooperazioa indartzea dute helburu (Michael Rada, 2015). Testuinguru honetan, pertsonen betebeharrak zeresan handia daukate adimendun fabriketan, batez ere doitasun handiko eginkizunak burutu behar direnean (Hadorn et al., 2015). Aldi berean, panorama hau belaunaldien jauziarekin batera ematen ari da, non egokitzapen teknologikorako gaitasun ezberdinak dituzten gizarteko erabiltzaile ezberdinak bat egiten duten. Gainera, sarritan, proposamen eta teknologia berrien jabetza erritmoa ez dator bat teknologiaren abiadura eta bilakaerarekin. Ondorioz, jabetza teknologikoa erabakigarria dela esan daiteke. Horretarako, beharrezkoak diren kompetentzia eta trebetasunak erakutsi behar zaizkie pertsonari, ekoizpen egitura eta enpresen eraldatze prozesuaz baliatu ahal izateko (López Sintas, Souto Nieves, & Van Hemmen, 2018).

Testuinguru industrial informatizatueta giza faktoreak integratzea beharrezkoa kontsideratzen den arren, horretarako, ezinbestekoa da trebetasun, gaitasun eta lehenetasun ezberdinak dituzten pertsonari egokitutako soluzioak sortzea. Honela, langileak motibatuago egongo dira eta produktiboagoak izango dira, banakako jarduera hobetuz. Gainera, diseinatzen diren soluzioek lan ongizatean izan beharko dute eragina, gogobetetasun maila, motibazioa eta konpromezu maila hobetuz, betiere fabriken errendimendua eta antolaketa hobetzea helburu izanik.

Interfaze industrial eta pertsonen arteko interakzioa hobetu eta jabetze teknologikoa emateko helburuarekin, ikerketa honetan ITPX (*Individual Task Performance Experience*) modeloa aurkezten da. Jardunaren maila eta UX-ean oinarrituz, HMI industrialen arrakasta diagnostikatu eta betebeharren lorpena ebaluatzen du modelo teoriko honek. Gainera, langilearen eta interfaze digitalaren artean ematen den interakzioa era holistikoa aztertzea ahalbideratzen du, enfoke esperientziala eta pragamatikoa uztartzen dituelarik. Aldi berean, eginkizunak era bizkor eta zuzenean burutzea errazten duten soluzio digitalen, lan efizientzia, efikazia, erabilera esperientzia eta banakako jarduera zein neurritan hobetzen duten aztertzen du modeloak.

Modeloaren garapena hiru gai garrantzitsutan oinarritu da, (i) sistemaren ahalmena eta zereginen eskaeren arteko erlazioa ebaluatzeko TTF doitasun balorean, (ii) zereginen analisi kuantitatiboan, eginkizunen burutze denbora eta errore kantitatea jasoz, eta

azkenik (iii) langileen pertzepzioan, modeloari ikuspegi esperientziala gehituz. Hiru ikuspegi hauen batura da modeloari gainontzeko modeloekiko ezberdintasuna ematen diona.

Ikerketa honen fase esperimentalak bost kasu azterketetan oinarritu da, non erabilera errealeko zazpi interfaze industrial aztertu diren. Modeloaren balidazioa Mondragon Unibertsitateko ULAB interakzio laborategian burutu da.

ITPX modeloak interfaze industrialen arrakasta diagnostikatzen laguntzen duela erakusten dute aurkikuntzek, soluzio digitalek zereginen burutzean eta erabiltzailearen pertzepzioan duten inpaktua aztertzeko prozedura proposatuz. Horrela, interfaze industrial jakinen integrazioak duen inplikazio maila jakin ahal izango dute manufaktura enpresek, prozesuak optimizatu eta kalitate zein produktibitatea hobetzeko.

ITPX modeloaren garapen prozesua jasotzen du dokumentuak. Lehenengo kapituluak, gaia kokatu ondoren, helburu eta hipotesiak zerrendatzen dira, erabili den ikerketa metodologiarekin batera. Bigarren kapituluak marko zientifiko-teknologikoa eta analisi kritikoa jasotzen ditu eta zortzi azpikapitulurekin osatzen da. Hirugarren kapituluak, ITPX modeloa aurkezten da, non garapenerako oinarri teorikoa eta modeloa osatzen duten gako eta elementuak deskribatzen diren. Laugarren kapituluak, modeloaren garapena eta balidazioa bost kasu azterketen bidez jasotzen da eta "ITPX Indicator" adierazlea aurkezten da. Azkenengo kapituluak, ondorioak azaldu eta planteatutako hipotesiak balidatzen dira, ikerketako ekarpen garrantzitsuenak deskribatzeaz gain. Bestalde, kongresu, liburu zein indexatutako aldizkarietan publikatutako lanak zerrendatzen dira. Azkenik, ikerketaren mugei eta etorkizuneko lan ildoari buruz hitz egiten da.

Ikerketan honetan buruturiko ekarpen garrantzitsuenak honakoak dira:

- Interfaze industrialen diagnostikorako ITPX modeloa
- Interfaze industrial baten TTF balorea kalkulatzeko egiaztapen zerrenda. Zeregin bat bermatzeko interfazeak duen ahalmena ebaluatzen da.
- Interfaze industrialaren arrakasta jasotzen duen banakako jardunaren adierazlea proposatzen da; ITPX indicator.

ABSTRACT

New trends in Industry 4.0 are focused on the importance of human-machine collaboration, promoting closer cooperation between both and encouraging the efficient use of machines and people in a cooperative environment (Michael Rada, 2015). In this context, human labour assumes a crucial role within intelligent factories, especially when high-precision tasks are required (Hadorn et al., 2015). Even so, this scenario coincides with an important generational leap regarding technological familiarization, where users with a different technological capacity for adaptation coincide in the same society. Moreover, the absorption of the new technologies by people is taking place in a pace that often does not coincide with the speed and evolutionary capacity of technology. As a result, technological acceptance is crucial, and it is necessary to provide people with the necessary competences and skills to take advantage of the process of transformation of the productive structure and companies (López Sintas, Souto Nieves, & Van Hemmen, 2018).

In this context, where it is considered necessary to integrate human factors in computerized industrial contexts, and create solutions adapted to people with different skills, abilities and preferences. Thus, workers will be more motivated and more productive, achieving better rates in terms of individual performance. Furthermore, the solutions designed should contribute to the improvement of well-being at work, increasing satisfaction, motivation and engagement. The objective is based on improving the performance and organization of the factories.

In order to guarantee the acceptance process and improve the interaction between industrial interfaces and people, this research presents the ITPX model (Individual Task Performance Experience) as a theoretical model proposal to diagnose the success of industrial HMIs and evaluate the achievement of tasks in terms of individual performance and the User Experience (UX). In this context of digital transformation in industrial work environments, UX is a key discipline. Digital solutions that help operators to perform the tasks required on these interfaces in an agile and satisfactory way will improve their efficiency and effectiveness at work, enhancing the user experience and achieving better individual performance scores. This new model enables a holistic analysis of the interaction between the operator and the digital solution, integrating the experiential approach with the pragmatic view.

The development of the model has been based on three main fields, (i) the value of TTF fit to evaluate the relationship between the system's capabilities and the demands of the task, (ii) quantitative analysis of task execution, where the time of completion of the activities and the amount of errors made by the operators are recorded, and finally, (iii) the perception of use by the operators, integrating the experiential view to the new model. The integration of these three approaches is the differential point compared to existing models.

The experimental phase of this research has been developed through five case studies where 7 industrial interfaces of real use have been analyzed. The validation of the model has been carried out in the ULAB interaction laboratory of the University of Mondragon.

The findings show that the ITPX model helps to assess the success of industrial interfaces, proposing a procedure that helps to analyze the impact of digital solutions on task completion and user perception. In this way, manufacturing companies will be able to know the implication that the integration of certain industrial interfaces has in their companies, so it will help them to optimize processes, improve quality and productivity.

The document outlines the process for developing the ITPX model. In the first chapter, once the subject has been placed into context, the objectives and hypotheses of the research are listed, together with the research methodology used. Chapter two includes the scientific-technological framework and critical analysis of the state of the art, where the potential contributions and identified research opportunities are discussed. It is divided into eight sub-chapters. In the third chapter, the ITPX method is presented. There is a description of the theoretical basis used for its creation and the keys and elements that constitute the new model. In the fourth chapter, the development and validation of the model is presented through five case studies and the ITPX Indicator is proposed. In the last chapter, the conclusions are shown as well as the validation of the initial hypothesis. In addition, the most relevant contributions of the research are described. On the other hand, the publications made in different conferences, books and indexed journals are listed. Finally, the limitations are indicated and the future lines of research are suggested.

The most relevant contributions derived from this research are

- New model for the diagnosis of industrial interfaces called ITPX.
- Checklist for the calculation of the TTF value of an industrial interface, in order to evaluate the capability of the industrial interface to support a task.

- ITPX indicator that captures the success of the industrial interface.

PUBLICACIONES VINCULADAS A ESTA TESIS

DOCTORAL

La presente tesis doctoral ha llevado a las siguientes publicaciones y comunicaciones científicas:

2020

- **Mazmela, M.**, Lasa, G. Aranburu, E. & Apraiz, A. (2020) Análisis del impacto de los factores de diseño en el aprendizaje y apropiación de una interfaz de inteligencia competitiva. *DYNA New Technologies*
- **Mazmela, M.**, Lasa, G. & Serrano, I. (2020). The use of the ITPX model to predict individual performance in industrial interfaces. *Cognition, Technology and work* (en revisión).
- Aranburu, E., **Mazmela, M.** y Lasa, G. (2020) Factores críticos de las interfaces industriales para la digitalización de la industria. *Diseño, energía y digitalización en proyectos de I+D+i* (2).
- Aranburu, E., Lasa, G., Gerrikagoitia, J. K., & **Mazmela, M.** (2020). Case Study of the Experience Capturer Evaluation Tool in the Design Process of an Industrial HMI. *Sustainability*, 12(15), 6228.

2019

- **Mazmela, M.**, Lasa, G., & Agirre, A. (2019, June). Analysis of task execution in a data visualisation interface and its influence on individual performance. In *Proceedings of the XX International Conference on Human Computer Interaction* (pp. 1-2).
- **Mazmela Etxabe, M.**, Lasa Erle, G., Aranburu Zabalo, E., Tomás Malón, P., & Anaya Rodríguez, M. (2019). La evaluación de la ejecución de tareas por parte de los usuarios en interfaces industriales mediante el cuestionario USE. *CIDIP 2019 Málaga* (Spain)
- **Mazmela-Etxabe, M.**, Lasa-Erle, G. & Aranburu-Zabalo, E. (2019). El componente experiencial para la apropiación tecnológica. *DYNA*, 94(5) (I.F.: 0,629; Q4).

- **Mazmela-Etxabe, M.**, Lasa-Erle, G. & Aranburu-Zabalo, E. (2019). Revisión del componente experiencial en los modelos de aceptación tecnológica y teorías de ajuste durante las interacciones con sistemas digitales. DYNA New Technologies, 6(1).
- Aranburu, E., Lasa, G., Gerrikagoitia, J. K., & **Mazmela, M.** (2019). Revisión y nueva clasificación de métodos de evaluación de la experiencia de usuario para los HMI industriales. CIDIP 2019 Málaga (Spain)

2018

- **Mazmela-Etxabe, M.**, Lasa-Erle, G., Aranburu-Zabalo, E., GonzalezOchoantesana, I., & Val-Jauregi, E. (2018). La influencia de los entornos interactivos adaptados en la aceptación de interfaces industriales actuales. CIDIP 2018 Madrid (Spain)
- **Mazmela, M.**, Lasa, G., Aranburu, E., Gonzalez, I., & Reguera, D. (2018, September). TAMUX model for industrial HMI evaluation from UX and task performance perspective. In Proceedings of the XIX International Conference on Human Computer Interaction (pp. 1-2).
- Lasa-Erle, G., Aranburu-Zabalo, E., **Mazmela-Etxabe, M.**, Justel-Lozano, D., & Reguera-Bakhache, D. (2018). Nuevos planteamientos para integrar aspectos emocionales en la evaluación heurística de las soluciones digitales. CIDIP 2018 Madrid (Spain)

2017

- Aranburu, E., Lasa, G., **Mazmela, M.** & Gerrikagoitia, J.K. (2017). Experience Context Capturer (ECC): new approach to analyse the user experience context within the industrial HMI environments. XXVI. International RESER Conference. Bilbao, Spain.

INDICE

1	INTRODUCCIÓN.....	32
1.1	OBJETO DE LA TESIS.....	32
1.2	CONTEXTO DE LA TESIS.....	35
1.2.1	LA TRANSFORMACIÓN DIGITAL Y LA FAMILIARIZACIÓN TECNOLÓGICA.....	35
1.2.2	LA INDUSTRIA 4.0.....	37
1.2.3	OPERARIO 4.0.....	40
1.2.4	CONCLUSIONES.....	43
1.3	HIPÓTESIS DE LA TESIS.....	45
1.4	OBJETIVOS DE LA TESIS.....	46
1.5	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	48
1.6	ESTRUCTURA DE LA TESIS.....	51
2	ENMARQUE CIENTÍFICO TECNOLÓGICO.....	53
2.1	LOS ESTÁNDARES DE LAS INTERFACES Y LA USABILIDAD.....	53
2.1.1	LA USABILIDAD.....	53
2.1.2	LA USABILIDAD Y LA UX.....	55
2.2	MODELOS DE ADOPCIÓN Y ACEPTACIÓN TECNOLÓGICA.....	59
2.2.1	TEORÍA DE LA DIFUSIÓN DE LA INNOVACIÓN (IDT) (E.M. Rogers, 1962).....	59
2.2.2	TEORÍA DE LA ACCIÓN RAZONADA (TRA) - (Fishbein & Ajzen, 1975).....	61
2.2.3	TEORÍA DEL COMPORTAMIENTO PLANIFICADO (TPB) - (Ajzen, 1985).....	63
2.2.4	TEORÍA SOCIAL COGNITIVA (SCT) - (Bandura, 1986).....	64
2.2.5	MODELO DE ACEPTACIÓN TECNOLÓGICA (TAM) - (Davis, 1989) ...	65
2.2.6	MODELO DE UTILIZACIÓN DEL PC (MPCU) - (Thompson et al., 1991).....	67

2.2.7	TEORÍA DE ACEPTACIÓN TECNOLÓGICA 2 (TAM2) - (Venkatesh & Davis, 2000)	68
2.2.8	TEORÍA UNIFICADA DE LA ACEPTACIÓN DEL USO DE LA TECNOLOGÍA (UTAUT) - (Venkatesh et al., 2003)	70
2.2.9	MODELO COMBINADO DEL MODELO DE ACEPTACIÓN Y LA TEORÍA DEL COMPORTAMIENTO PLANIFICADO (TAM-TPB) - (Yayla, Ali Alper & Hu, 2007).....	72
2.2.10	MODELO DE ACEPTACIÓN TECNOLÓGICA 3(TAM3) - (Venkatesh & Bala, 2008)	73
2.3	TEORÍAS DE AJUSTE	76
2.3.1	TEORÍA DE AJUSTE TAREA-TECNOLOGÍA (TTF) (Goodhue, 1995) ..	76
2.3.2	MODELO DE CADENA TECNOLOGÍA-DESEMPEÑO (TPC) (Goodhue & Thompson, 1995).....	78
2.3.3	MODELO COMBINADO TTF/TPC (Goodhue & Thompson, 1995)	80
2.3.4	MODELO COMBINADO TAM/TTF (Dishaw & Strong, 1999)	83
2.3.5	MODELO DE AJUSTE TAREA-TECNOLOGÍA, EVALUACIONES DE USUARIOS Y RENDIMIENTO (Goodhue et al., 2000).....	84
2.4	LA CARGA MENTAL/COGNITIVA DE TRABAJO.....	86
2.4.1	TIPOS DE CARGA MENTAL/COGNITIVA	88
2.4.2	ANÁLISIS DE LA CARGA DE TRABAJO	89
2.4.3	MEDICIÓN DE LA CARGA MENTAL/COGNITIVA DE TRABAJO	91
2.4.4	IMPLICACIONES PARA EL DISEÑO DE LA INTERFAZ.....	95
2.5	INTERACCIÓN DIRIGIDA POR OBJETIVOS.....	96
2.5.1	MODELOS DE PROCESADOR HUMANO (Card et al., 1980)	96
2.5.2	MODELO DE NIVEL DE PULSACIÓN (Card et al., 1980)	97
2.5.3	MÉTODO GOMS (Card et al., 1983)	99
2.5.4	MODELO CPS-GOMS (John & Gray, 1995)	100
2.5.5	MODELO CMN-GOMS (Card et al., 1980)	100
2.5.6	MODELO NGMOL (Kieras, 1997).....	101
2.5.7	MODELO DE NIVEL TÁCTIL (TLM) (Rice & Lartigue, 2014)	101

2.6	CONCIENCIA DE SITUACIÓN (<i>SITUATIONAL AWARENESS</i>).....	103
2.6.1	TEORÍA DE ENDSLEY.....	103
2.6.2	TÉCNICAS E INDICADORES DE LA SA.....	105
2.7	LA EXPERIENCIA DE USUARIO	110
2.7.1	LAS BASES DE LA UX.....	110
2.7.2	MODELOS UX.....	111
2.7.3	LA UX Y LA ADOPCIÓN TECNOLÓGICA.....	119
2.7.4	NECESIDADES PSICOLÓGICAS Y LA UX.....	121
2.7.5	LAS EMOCIONES Y EL DISEÑO DE INTERFAZ DE USUARIO.....	123
2.8	ANÁLISIS CRÍTICO DEL ESTADO DEL ARTE	126
2.8.1	EL EFECTO DE LA ADOPCIÓN TECNOLÓGICA EN LAS ORGANIZACIONES	126
2.8.2	EL COMPONENTE EXPERIENCIAL EN LOS MODELOS DE ACEPTACIÓN TECNOLÓGICA Y TEORÍAS DE AJUSTE.....	129
2.8.3	LA CARGA MENTAL DE TRABAJO Y LA EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO.....	137
2.8.4	MEDICIÓN DE LAS VARIABLE PRAGMÁTICAS	141
2.8.5	MARCOS METODOLÓGICOS Y SU APLICACIÓN EN EL CONTEXTO INDUSTRIAL	144
3	MODELO ITPX	151
3.1	BASE TEÓRICA DEL MODELO ITPX	151
3.2	DESCRIPCIÓN DEL MODELO ITPX.....	155
3.2.1	CARACTERÍSTICAS QUE DEFINEN EL VALOR DE AJUSTE TTF....	156
3.2.2	EJECUCIÓN DE LA TAREA.....	160
3.2.3	EXPERIENCIA DE USO.....	166
4	DESARROLLO Y VALIDACIÓN DEL MODELO ITPX.....	169
4.1	METODOLOGÍA.....	169
4.1.1	PROCESO A SEGUIR.....	169
4.2	CASOS DE ESTUDIO	171

4.2.1	CASO DE ESTUDIO 1 - DOGRIND Y DOGRIND 2.0	172
4.2.2	CASO DE ESTUDIO 2 - CNC GOITI	185
4.2.3	CASO DE ESTUDIO 3 - CNC FAGOR SIMULATOR 1.60	194
4.2.4	CASO DE ESTUDIO 4 – INNGUMA	203
4.2.5	CASO DE ESTUDIO 5 - CITYFIED	221
4.3	CONCLUSIONES GENERALES DE LOS CASOS DE ESTUDIO.....	230
4.4	ITPX INDICATOR	237
5	CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS.....	241
5.1	CONCLUSIONES GENERALES	241
5.2	VALIDACIÓN DE LAS HIPÓTESIS	248
5.3	APORTACIONES MÁS RELEVANTES	251
5.4	LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	253
5.5	LÍNEAS FUTURAS DE LA INVESTIGACIÓN	254
6	ANEXOS.....	270
6.1	LISTADO DE VERIFICACIÓN	270
6.2	CUESTIONARIO USE (Lund, 2001)	274
6.3	LISTADO DE VERIFICACIÓN PARA UNA INTERFAZ DE VISUALIZACIÓN DE DATOS.....	276

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Metodología de investigación planteada siguiendo el modelo DIR (Horváth, 2007)	49
Figura 2: Calidad de producto software ISO 25010:2011	54
Figura 3: Teoría de la Difusión de la Innovación (Rogers, 1962).....	60
Figura 4: Teoría de la Acción Razonada (Fishbein & Ajzen, 1975)	62
Figura 5: Teoría del Comportamiento Planificado (Ajzen, 1985)	64
Figura 6: Teoría Social Cognitiva – SCT (Bandura, 1986).....	65
Figura 7: Modelo de Aceptación Tecnológica (TAM) (Davis, 1989).....	66
Figura 8: Modelo de utilización del PC (Thompson et al., 1991)	68
Figura 9: Modelo de Aceptación Tecnológica 2 - TAM2 (Venkatesh & Davis, 2000) ...	69
Figura 10: Teoría Unificada de la Aceptación del Uso de la Tecnología – UTAUT (Venkatesh et al., 2003).....	72
Figura 11: Modelo TAM-TPB (Yayla, Ali Alper & Hu, 2007).....	73
Figura 12: Modelo de Aceptación Tecnológica 3 - TAM3 (Venkatesh & Bala, 2008) ...	74
Figura 13: Teoría de Ajuste Tarea-Tecnología – TTF (Goodhue, 1995).....	77
Figura 14: Modelo de Cadena Tecnología-Desempeño – TPC (Goodhue & Thompson, 1995)	80
Figura 15: Modelo combinado TTF/TPC (Goodhue & Thompson, 1995).....	82
Figura 16: Modelo combinado TAM/TTF (Dishaw & Strong, 1999)	84
Figura 17: Modelo de Ajuste Tarea-Tecnología, evaluaciones de usuario y rendimiento (Goodhue et al., 2000).....	85
Figura 18: Factores de la carga de trabajo (García & del Hoyo Delgado, 2002).....	88
Figura 19: Modelo de Endsley (Endsley, 1995).....	104
Figura 20: Versión simplificada del modelo de Endsley.	105
Figura 21: Modelo UX de Hassenzahl (Basado en Marc Hassenzahl, 2003)	112

Figura 22: Componentes de la experiencia de usuario (Adaptado de Thüring & Mahlke, 2007)	113
Figura 23: Modelo de evaluación de la calidad de la interfaz de usuario (Hartmann et al., 2008).....	115
Figura 24: Modelo psicológico-ambiental de la Experiencia de Interacción.....	117
Figura 25: Modelo de Experiencia de Usuario Unificada (Von Saucken & Gomez, 2014)	118
Figura 26: La emoción y el diseño de interfaz (Lockner & Bonnardel, 2014)	124
Figura 27: System usability framework (Savioja & Norros, 2008)	125
Figura 28: Objetivos de los factores ergonómico y humanos (Hollnagel & Woods, 2005)	127
Figura 29: Proceso de diseño con enfoque E/HF (Wilson & Sharples, 2015).....	129
Figura 30: Marco de Usabilidad del Sistema (Savioja & Norros, 2008)	145
Figura 31: Componentes de la experiencia de usuario. Adaptado de (Thüring & Mahlke, 2007).....	146
Figura 32: Marco general del operario 4.0 adaptado de Peruzzini et al., (2018).....	148
Figura 33: Factory2fit work well-being framework	149
Figura 34: Base teórica del modelo ITPX.....	152
Figura 35: El modelo ITPX.....	155
Figura 36: Características que definen el valor de ajuste TTF	156
Figura 37: Ejecución de la tarea en el modelo ITPX	161
Figura 38: Experiencia de uso en el modelo ITPX	166
Figura 39: Interfaz gráfica del software DoGrind	173
Figura 40: Interfaz gráfica del prototipo DoGrind 2.0.....	173
Figura 41: Comparativa de la rapidez de tiempos de ejecución en base al programa utilizado con anterioridad para completar la tarea.....	177
Figura 42: Comparativa del ratio de errores en DoGrind y DoGrind 2.0	179
Figura 43: Aprendibilidad – usuarios que reducen el tiempo de ejecución en tareas repetidas.....	180
Figura 44: La interfaz gráfica del software GOITI.....	185

Figura 45: Relación entre el tiempo de experto y los tiempos reales por usuario y tarea	189
Figura 46: Cantidad de errores por usuario y tarea	190
Figura 47: Puntuaciones recogidas mediante el cuestionario USE	191
Figura 48: Software CNC Fagor Simulator 1.60	194
Figura 49: Relación de tiempos y errores de ejecución en el software CNC Fagor Simulator 1.60.....	198
Figura 50: Resultados del cuestionario USE CNC Fagor Simulator 1.60	200
Figura 51: Interfaz V-A.....	204
Figura 52: Interfaz V-B.....	205
Figura 53: Comparación de tiempo entre V- A y V- B en el procedimiento I.....	210
Figura 54: Comparación de tiempo entre Versión A y Versión B en el procedimiento II.	211
Figura 55: Resultados comparativos del cuestionario USE para el procedimiento I. .	213
Figura 56: Resultados comparativos del cuestionario USE por cada usuario que ha utilizado la V-B en primer lugar	214
Figura 57: Medias de las métricas EEG sin tener en cuenta el factor de orden.....	215
Figura 58: Tiempo de ejecución de tareas	225
Figura 59: Número de errores por cada tarea	226
Figura 60: Resultados individuales del cuestionario USE en CITYFIED	227
Figura 61: Relación entre Valores de ajuste TTF y valores de percepción de usuario	231
Figura 62: Herramienta-indicador del desempeño individual, ITPX indicator.....	238
Figura 63: Propuesta para la optimización del modelo ITPX.	256

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: La relación de los objetivos con las hipótesis a validar.....	46
Tabla 2: Descripción de los casos de estudio realizados en la investigación	49
Tabla 3: Facetas del UX. Adaptado de Masip (2013).....	56
Tabla 4: Medidas de efectividad eficiencia y satisfacción. Bevan, Carter & Harker (2015).....	57
Tabla 5: Descripción de las características de usabilidad	57
Tabla 6: Criterios para la evaluación de la carga de trabajo.....	89
Tabla 7: Consideraciones de las medidas de análisis de la carga de trabajo.....	90
Tabla 8: NASA-TLX (Hart & Staveland, 1988)	92
Tabla 9: Tiempos para los operadores KLM	98
Tabla 10: Directorio de los principales instrumentos para medir la SA.....	106
Tabla 11: Indicadores de una buena y mala SA. Modificado de (Jeannot et al., 2003)	108
Tabla 12: Factores que impactan en la SA	108
Tabla 13: Modelos y teorías seleccionados	132
Tabla 14: Tabla comparativa de modelos y constructos.....	136
Tabla 15: Factores para el diseño de tareas (Bion et al., 2010)	140
Tabla 16: Mediciones de la UX y su efecto en el desempeño individual	142
Tabla 17: Ejemplo de algunos aspectos a evaluar en el listado de verificación en términos de gestión de ficheros	158
Tabla 18: Ejemplo de algunos aspectos a evaluar en el listado de verificación en términos de introducción de parámetros	159
Tabla 19: Ejemplo de algunos aspectos a evaluar sobre la ejecución de piezas.....	160
Tabla 20: Operadores GOMS (Card et al., 1983).....	161
Tabla 21: Método para el análisis de ejecución de tareas adaptado de GOMS	162
Tabla 22: Operadores GOMS-ITPX	164

Tabla 23: Descripción de los casos de estudio	171
Tabla 24: Tarea definida para el software DoGrind y DoGrind 2.0	175
Tabla 25: Comparación entre el tiempo real y el tiempo estimado	178
Tabla 26: Puntuaciones generales obtenidos del cuestionario USE.....	181
Tabla 27: Relación de los resultados obtenidos del cuestionario USE para las soluciones DoGrind y DoGrind 2.0.....	181
Tabla 28: Tareas a realizar en el software GOITI.....	187
Tabla 29: GOMS para la primera tarea en GOITI.....	188
Tabla 30: Comparación general del tiempo estimado, tiempo real y errores	188
Tabla 31: Porcentaje de usuarios que han realizado las tareas sin errores.....	190
Tabla 32: Puntuación media de los valores obtenidos en el cuestionario USE	191
Tabla 33: Tareas a ejecutar en el CNC Fagor Simulator 1.60	196
Tabla 34: Comparación general del tiempo estimado, tiempo real y errores	197
Tabla 35: Valoraciones medias obtenidas tras el cuestionario USE para el CNC Fagor Simulator 1.60.....	199
Tabla 36: Procedimientos establecidos para la experimentación	207
Tabla 37: Tareas a realizar en el software Innguma	208
Tabla 38: Comparación general del tiempo estimado, tiempo real y errores.	209
Tabla 39: Comparación de valores generales recogidos en el cuestionario USE	212
Tabla 40: Resultados EEG para el procedimiento I.....	215
Tabla 41: Resultados EEG para el procedimiento II.....	216
Tabla 42: Tareas a realizar en el software CITYFIED.....	223
Tabla 43: Comparación general del t de experto, t medio real y cantidad media de errores por tarea	225
Tabla 44: Puntuación media cuestionario USE en CITYFIED.....	227
Tabla 45: Puntuación del software Innguma A	233
Tabla 46: Relación de medias entre tiempo experto y real.....	235
Tabla 47: Listado de verificación para una interfaz industrial	270

ABREVIATURAS

BR	Tasa de respiración. Indicador para la detección del estrés en conjunción con otras medidas fisiológicas.
CUE	<i>Components of User Experience</i> . Componentes de la experiencia de usuario. Modelo que integra los aspectos experienciales e instrumentales.
D	Dilatación de la pupila. Proporciona información útil sobre la fuente de atención y el estrés del individuo.
DBZ	Diseinu Berrikuntza Zentroa, centro de innovación en diseño de Mondragon Unibertsitatea.
DIR	<i>Design Inclusive Research</i> . Investigación de diseño inclusiva. Metodología que tiene como objetivo aportar rigor científico a la investigación en diseño.
EEG	Electroencefalografía. Permite estudiar la actividad eléctrica cerebral.
EG	Gasómetro ocular. Proporciona información sobre la fuente de tensión y el estrés del individuo.
E/HF	<i>Ergonomics or Human Factors</i> . Ergonomía o factor humano. Disciplina científica relacionada con el conocimiento de la interacción entre el ser humano y otros elementos de un sistema, aplicando teorías, principios, datos y métodos para diseñar buscando optimizar el bienestar humano.
GOMS	<i>Goals, Operators, Methods and Selection rules</i> . Objetivos, operadores, métodos y reglas de selección. Método analítico que proporciona una descripción de nivel de tarea en actividades humanas que corresponden a las probabilidades de error humano y al tiempo de la tarea.
HCI	<i>Human Computer Interaction</i> . Interacción Humano Computadora. Disciplina que estudia el intercambio de información entre las personas y las computadoras.

HCD	<i>Human Centred Design</i> . Diseño centrado en las personas. Disciplina del diseño que tiene como objetivo crear productos y servicios basados en las necesidades de los usuarios.
HMI	<i>Human Machine Interface</i> . Interfaz Humano Máquina. Se trata de la interfaz que permite la comunicación entre humano y máquina.
HR	Frecuencia cardíaca. Número de contracciones del corazón o pulsaciones por unidad de tiempo.
HRV	<i>Heart rate variability</i> . Variabilidad de la frecuencia cardíaca.
HTA	<i>Hierarchical Task Analysis</i> . Análisis de tareas hereditarias. Método para realizar el análisis de tareas, que descompone una meta en una serie de subobjetivos y componentes de tareas.
IDT	<i>Innovation Difussion Theory</i> . Teoría de la difusión de la innovación. Modelo conceptual que discute la aceptación de la tecnología a partir de la interrelación de ésta con las dimensiones sociales y psicológicas del usuario, y presenta un análisis teórico preciso que investiga la difusión de la innovación.
IIoT	<i>Industrial Internet of Things</i> . Internet industrial de las cosas. Es el uso de tecnologías de Internet de Cosas (IoT) en la manufactura.
ITPX	<i>Individual Task Performance Experience</i> . Experiencia en el desempeño de tareas individuales. Método para el diagnóstico de interfaces industriales, proponiendo un modelo que ayuda a predecir la aceptación de los usuarios en términos de la UX y el éxito durante la ejecución de tareas.
ISO	<i>International Organization for Standardization</i> , es una organización para la creación de estándares internacionales compuesta por diversas organizaciones nacionales de normalización.
KLM	<i>Keystroke Level Model</i> . Modelo de nivel de pulsación. Modelo que predice la realización de tareas sin errores por parte de expertos. Sumando los tiempos de pulsación de teclas, totaliza los tiempos de ejecución para los operadores individuales.
MCH	<i>Modified Cooper Harper</i> . Escala de calificación utilizado en aeronáutica para evaluar las cualidades de manejo de las aeronaves mientras realizan una tarea durante una prueba de vuelo.

MPCU	<i>Model of PC Utilization</i> . Modelo de utilización del PC. Teoría que trata de medir el grado de utilización de un PC por parte de un trabajador cuando el uso no es obligado por la organización.
MWL	<i>Mental Workload</i> . Carga mental de trabajo. La cantidad de esfuerzo mental requerido para que un individuo realice una tarea particular.
NASA - TLX	Índice de carga de tareas. Herramienta de evaluación subjetiva de cargas de trabajo para evaluar las cargas de los operadores que trabajan con sistemas de interfaz humano-máquina.
PIF	<i>Performance Influencing Factors</i> . Factores que influyen en el rendimiento. Son las características del trabajo, del individuo y de la organización que influyen en el rendimiento humano.
SA	<i>Situational Awareness</i> . Conciencia de situación. Se refiere a la percepción y comprensión de una persona de lo que ocurre a su alrededor y es importante para una toma de decisiones y una acción eficaces.
SCT	<i>Social Cognitive Theory</i> . Teoría social cognitiva. Teoría para describir, entender, cambiar y predecir el comportamiento humano.
SOCC	<i>Subjective Opinion via Continuous Control</i> . Opinión subjetiva a través del control continuo. Escala subjetiva para el análisis de la carga de trabajo.
SU	<i>System usability</i> . Usabilidad del sistema. Medida empírica y relativa de la usabilidad del mismo.
SWAT	<i>Subjective Workload Assessment Technique</i> . Técnica de evaluación de la carga de trabajo subjetiva. Escala para medir la carga mental.
TA	<i>Technology Acceptance</i> . Adopción tecnológica. Concepto utilizado para explorar la relación entre la 'tecnología' y el 'individuo' y describir el proceso mediante el cual una tecnología pasa de ser desconocida a ser parte de la vida diaria de una persona.
TAM	<i>Technology Acceptance Model</i> . Modelo de aceptación tecnológica. Enfoque popular para estudiar la adopción de una tecnología, diseñado para predecir la aceptación de los sistemas de información por los usuarios en las organizaciones.

TAM 2	<i>Technology Acceptance Model 2</i> . Modelo de aceptación tecnológica 2. Evolución del TAM.
TAM 3	<i>Technology Acceptance Model 3</i> . Modelo de aceptación tecnológica 3. Evolución del TAM.
TI	Tecnología de la Información. Recursos, herramientas y programas que se utilizan para procesar, administrar y compartir la información mediante diversos soportes tecnológicos.
TIC	Tecnologías de la Información y Comunicación. Término extensional para la tecnología de la información (TI) que enfatiza el papel de las comunicaciones unificadas.
TLM	<i>Touch Level Model</i> . Modelo de nivel táctil. Modelo para predecir con precisión el desempeño real del usuario en una pantalla táctil.
TTF	<i>Task Technology Fit</i> . Ajuste tarea-tecnología. El valor de ajuste TTF mide la relación entre las capacidades del sistema y las demandas de la tarea.
TPB	<i>Theory of Planned Behaviour</i> . Teoría del comportamiento planificado. Modelo para predecir la adopción tecnológica teniendo en cuenta la intención que poseen los individuos para utilizar la tecnología.
TPC	<i>Technology to Performance Chain</i> . Modelo de cadena tecnología-desempeño. Modelo que tiene como objetivo la evaluación del ajuste entre la tecnología y la tarea y la evaluación del rendimiento individual.
TRA	<i>Theory of Reasoned Action</i> . Teoría de la acción razonada. Modelo que explica las relaciones entre creencias, actitudes, intenciones, conducta y los procesos grupales.
UI	<i>User interaction</i> . Interacción del usuario.
USE	<i>Usefulness, satisfaction and Ease of Use</i> . Usabilidad, satisfacción y facilidad de uso. Cuestionario para evaluar la interacción de los operarios con interfaces industriales mediante medidas subjetivas.
UTAUT	<i>Unified Theory of Acceptance and Use of Technology</i> . Teoría unificada de la aceptación del uso de la tecnología. Modelo integrador planteado con el objetivo de superar las limitaciones de los modelos

anteriormente desarrollados.

- UX *User Experience*. Experiencia de usuario. Disciplina de diseño que analiza un conjunto de factores y elementos relativos a la interacción del usuario con un entorno o dispositivo concretos, dando como resultado una percepción positiva o negativa de dicho servicio, producto o dispositivo.
- VOSO *Verbal Online Subjective Opinion*. Opinión subjetiva verbal en línea. Escala subjetiva para el análisis de la carga de trabajo.
- WP *Workload profile*. Perfil de carga de trabajo. Escala subjetiva para el análisis de la carga de trabajo.

GLOSARIO

Apropiación tecnológica: Proceso de adopción de una tecnología por parte de una persona

Arquitectura de la información: se refiere a la organización y estructura de la información y la navegación en aplicaciones digitales.

Desempeño: se refiere al rendimiento de una persona en su ámbito laboral. Se trata del nivel que consigue alcanzar de acuerdo a su destreza y a su esfuerzo.

Diseño centrado en las personas: Disciplina del diseño que tiene como objetivo crear productos y servicios basados en las necesidades de los usuarios.

Diseño de interacción: se refiere a la disciplina del diseño que estudia la comunicación entre el usuario y el producto, tanto físico como digital.

Heurístico: son los principios o requisitos que las aplicaciones digitales deben cumplir para una usabilidad adecuada.

Industria 4.0: se refiere a la cuarta revolución industrial, basada principalmente en las tecnologías inteligentes y los sistemas ciber-físicos conectados.

Interfaz: es el punto físico, digital o lógico de comunicación e interacción entre el usuario y la computadora.

Interfaz industrial: se trata de la interfaz de un entorno industrial. En este trabajo, se refiere a las soluciones digitales empleados en los entornos de trabajo industriales.

Interacción: es un tipo de acción que ocurre entre dos o más objetos, personas o elementos que tienen un efecto sobre el otro. En diseño, se refiere a las cualidades del efecto recíproco que se produce entre el usuario y el artefacto.

Interacción Humano Máquina: se refiere a la acción que ocurre entre humano y máquina.

Interfaz Humano Máquina: se refiere al lugar donde se interactúa con la máquina. En esta investigación se refiere a la interfaz con el que los operarios interactúan con la máquina en un entorno de manufactura.

Operario 4.0: hace referencia al operario de la nueva Industria 4.0, definiéndolo como un operario inteligente que trabaja de forma cooperativa con las nuevas tecnologías para así aprovechar al máximo tanto sus virtudes como de las máquinas.

Pragmatismo: tendencia a conceder preferencia al valor práctico de las cosas sobre cualquier otro valor. En la presente investigación, el concepto de aspectos pragmáticos se refiere a los factores relacionados con la funcionalidad y usabilidad del sistema.

Usabilidad: la normativa ISO 9241-11:2019 (2019) la describe como la medida en que un sistema, producto o servicio puede ser utilizado por determinados usuarios para alcanzar objetivos específicos con eficacia, eficiencia y satisfacción en un contexto de utilización determinado.

Capítulo I

Introducción

1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo, en primer lugar, se define el objeto de la tesis doctoral y se describe el contexto de investigación. Después, se exponen las hipótesis planteadas y los objetivos de investigación que se han definido. Por otra parte, se describe la metodología de investigación que se ha utilizado y, por último, se muestra la estructura de la tesis.

1.1 OBJETO DE LA TESIS

El objeto de esta investigación es definir y validar un modelo para evaluar el desempeño individual tras la ejecución de tareas encomendadas en interfaces industriales. Dicho modelo, denominado como *Individual Task Performance Experience (ITPX)* o Experiencia de interacción durante la ejecución de tareas (en castellano), permite evaluar los efectos que tienen las características de las interfaces industriales en la mejora del desempeño individual. Para ello, se determinan las variables que afectan durante la interacción, las cuales tienen efecto durante la ejecución de tareas.

Actualmente, la evolución exponencial de los avances tecnológicos en entornos de trabajo, está generando disrupción y cambios de paradigma continuos. La tecnología ha tomado un rol transformacional y la digitalización está impactando en los procesos, la estrategia y la cultura organizacional. Aunque el uso de las Tecnologías de la Información (TIs) tiene consecuencias favorables como la mejora del desempeño y la productividad (Bharadwaj, Bharadwaj & Konsynski, 1999), la implementación de una tecnología implica cambios tanto organizativos como individuales (Rogers, 1995). Es por ello que la incorporación de nuevas tecnologías dentro de las compañías y los desafíos asociados con la implementación y el desarrollo de la adopción de sistemas TIC se han convertido en un reto para las organizaciones (Jeyaraj, Rottman, & Lacity, 2006; Korpelainen, 2011). Desde el punto de vista del usuario, adoptar estas tecnologías satisfactoriamente es importante para poder integrarse y participar en el cambiante contexto sociolaboral y las exigencias organizacionales.

La transformación de la industria vasca en clave 4.0 está tomando relevancia y es por ello que se quieren abrir nuevas vías para aportar valor dentro de las compañías y el tejido industrial. La digitalización pretende revolucionar también el mercado de la máquina herramienta, y cada vez se invierte más en actividades de I+D (Navarro Arancegui & Sabalza Laskurain, 2016). Aunque la implementación de la tecnología

tenga una ventaja teórica en las organizaciones, es crucial la adopción de estas tecnologías por parte de los trabajadores. En este sentido, las tecnologías integradas en el marco de la Industria 4.0 pueden mejorar la rentabilidad de las empresas manufactureras siempre y cuando los trabajadores los interioricen de forma correcta y acepten dichas tecnologías.

La aceptación de la tecnología (TA) puede definirse como el juicio, la actitud y las reacciones de comportamiento hacia un producto o servicio (Schade & Schlag, 2003). Los Modelos de Adopción Tecnológica, basados en percepciones de las personas sobre los aspectos relacionados con el uso de una tecnología fueron los primeros modelos en considerar la importancia de la adopción en relación hacia una innovación. Los modelos TA tienen como objetivo explicar la intención de los usuarios de utilizar un sistema, sobre todo como resultado de la utilidad percibida (similar a la expectativa de rendimiento) y la facilidad de uso percibida (similar a la expectativa de esfuerzo). Bajo este enfoque, el interés por conocer los factores que influyen en la adopción ha llevado al desarrollo de distintas teorías que tratan de recoger las dimensiones que condicionan la conducta de los usuarios. Los modelos de aceptación tecnológica reúnen la información sobre las creencias de los usuarios resultado de enfrentarse a una nueva tecnología en el marco social o de contexto en el que se encuentran, el cual predice la apropiación de la tecnología.

El componente experiencial en la interacción humano-computadora y la adopción son dos líneas de investigación raramente tratados simultáneamente. autores como Van der Heijden (2004), por ejemplo, integran en sus trabajos el aspecto experiencial y hedónico a modelos TA mediante la variable "disfrute percibido". Aunque la experiencia forme parte del proceso de adopción, todavía son pocos los modelos TA que integran constructos relacionados con el factor experiencial.

El campo de investigación de la Experiencia de Usuario (UX), es un campo de investigación en crecimiento, el cual estudia todos los factores que afectan a la interacción del usuario durante la experiencia con un sistema o producto, de forma que ayudan a recoger las sensaciones que los usuarios experimentan al interactuar con entornos digitales (Lund, 2001; Wright, Wallace & McCarthy, 2008; Hassenzahl, 2010). Los estudios sobre la UX siguen en su mayoría la línea psicológica de pensamiento, en línea con el enfoque de "tecnología como experiencia" (McCarthy, John and Wright, 2004), que cambió el enfoque del diseño hacia aspectos subjetivos y emocionales de la interacción con los productos o servicios.

Puede parecer que los modelos TA y la UX tienen objetivos diferentes, ya que los modelos TA enfatizan en la predicción de uso y la UX busca entender la experiencia. De todas formas, la investigación TA/UX puede ayudar a mezclar los aspectos utilitarios y emocionales evocados por la tecnología, las cuales son reconocidas como importantes para el desempeño y el bienestar. Aun así, son limitados los estudios que analizan la adopción tecnológica y la UX en su conjunto, tal y como afirman Hornbæk & Hertzum (2017) en su revisión del componente experiencial en HCI (Interacción humano computadora), donde analizan la superposición entre los modelos. Además, mientras que los factores sobre los usuarios, los sistemas, las tareas y el contexto de la organización se reconocen ampliamente como importantes, muchos trabajos sobre la aceptación tecnológica no los abordan. Sin embargo, aun siendo escasos, se considera necesario abordar las dos líneas de conocimiento conjuntamente, ya que los casos existentes recogidos en la literatura académica muestran resultados prometedores (Distler, Lallemand, & Koenig, 2020; Kasper Hornbæk & Law, 2007). De este modo se trabaja la falta de aspectos no pragmáticos (por ejemplo, aspectos hedónicos, psicológicos, necesidades, valores) como los que ofrecen los marcos de UX, en la mayoría de los modelos de aceptación.

Considerando la problemática que establece la transformación digital, es necesario analizar el contexto y encontrar factores que ayuden a interpretar el impacto generado por la tecnología en la adopción de las mismas. En definitiva, es necesario describir los factores que sientan las bases del concepto de adopción tecnológica para tener una mejor comprensión de las variables a tener en cuenta en el proceso de integración de las TIs en las actividades habituales de los trabajadores (Fernández, K., McAnally, L., Vallejo, 2015). Esta información será relevante para las compañías, ya que podrán crear sistemas que no generen barreras de adopción y ayuden a mejorar la eficiencia de los trabajadores.

1.2 CONTEXTO DE LA TESIS

Debido a la continua evolución de la tecnología durante los últimos años, la sociedad se ha visto envuelta por un proceso de transformación digital y un nuevo paradigma socio-económico. Esta sección tiene como objetivo recoger los aspectos que están influenciando en la evolución hacia la nueva industria. En primer lugar, se define el efecto que está teniendo este nuevo contexto en la transformación digital y la familiarización tecnológica. En segundo lugar, se profundiza sobre la Industria 4.0 y el proceso de digitalización en el que se están viendo involucrados las empresas manufactureras. Tras ello, se recoge las implicaciones de la nueva figura del Operario 4.0. Por último, se describe la importancia de la implementación de Tecnologías de la Información y Comunicaciones (TIC) en entornos organizativos y se discute sobre los desafíos asociados a dicha implementación. Asimismo, bajo este enfoque, se trata la importancia de comprender los factores relacionados con la adopción de las tecnologías y el impacto de dicho fenómeno en la rentabilidad de las empresas manufactureras.

1.2.1 LA TRANSFORMACIÓN DIGITAL Y LA FAMILIARIZACIÓN TECNOLÓGICA

En los últimos años la tecnología está evolucionando a unos ritmos extremadamente elevados. El mercado está siendo actualizado y renovado con una frecuencia desconocida hasta el momento, y la absorción de las nuevas propuestas por parte de los consumidores se está efectuando a un ritmo que muchas veces no coincide con la velocidad y capacidad evolutiva de la tecnología. En el entorno industrial, son cada vez más las compañías que han comenzado a incorporar innovaciones tecnológicas con el fin de mejorar su productividad. Un panorama que coincide con un salto generacional importante respecto a la familiarización tecnológica, donde en una misma sociedad coinciden usuarios con una capacidad de adaptación y percepción tecnológica diametralmente opuestos. La manera de integrar la tecnología dentro de la empresa influye mucho a la hora de comprenderla, abriendo una brecha mayor en casos en los que la renovación tecnológica no se ha llevado a cabo paulatinamente (Aguilar, 2018). Esta es una de las razones por las que distintas empresas no logran ni la misma creación de valor ni los mismos resultados aun empleando las mismas tecnologías digitales.

Rodearse de dispositivos personales e interactuar con servicios asociados a tecnologías de la información, se ha convertido común para las personas. Desde el

punto de vista del usuario, adoptar estas tecnologías satisfactoriamente puede ser importante para poder integrarse y participar en la cambiante sociedad. Hoy en día, existe una brecha relacionada con las limitaciones de uso relacionadas con la tecnología, pero “la separación entre las poblaciones ya no se da entre los que tienen y los que no tienen, sino que la división se acentúa entre los que saben y los que no saben” (Selwyn, 2004). La literatura sobre la brecha digital señala que las habilidades digitales constituyen un factor fundamental para predecir el uso de una tecnología (Hargittai, 2010). Además, en el contexto laboral, el fenómeno de la vida laboral ampliada y en continua transmutación plantean múltiples preguntas, no sólo acerca de la naturaleza del trabajo en el futuro cercano, sino sobre las competencias que se requerirán (Castillo, 2018).

La Organización de las Naciones Unidas en conjunto con la Unión Internacional de Telecomunicaciones durante la Cumbre Mundial para la Sociedad de la Información, puntualizó los distintos tipos de brecha digital generados por la tecnología: (i) de acceso (Tello, 2007), (ii) generacional (Prensky, 2001) y (iii) cognitiva (Crovi, 2010), entre otros. Estas brechas establecen grandes diferencias en la adopción de las tecnologías, que justifican las divergencias que existen al respecto entre países, regiones de un mismo país, e incluso, en sectores sociales de una misma población.

Considerando la problemática que establece la brecha digital y las transformaciones que está viviendo la sociedad para adaptarse a los cambios generados por las TIC, es necesario analizar el contexto y encontrar factores que ayuden a interpretar el impacto generado por la tecnología en la adopción de las mismas.

En esta línea, López Sintas, Souto Nieves, & Van Hemmen (2018), indican la importancia de dotar a las personas de las competencias y habilidades necesarias para aprovechar el proceso de transformación de la estructura productiva y de las empresas. Los autores consideran además que es necesario utilizar los instrumentos para que las empresas incentiven la formación de sus empleados. Es necesario que las compañías incluyan entre sus objetivos la educación y la adquisición de competencias tecnológicas para contrarrestar los efectos de la brecha digital.

La adopción de la tecnología es especialmente importante cuando se estudian las tecnologías de uso diario o frecuentes, como sistemas de trabajo o equipos, y existe preocupación acerca de asegurar la adopción exitosa de tecnologías dentro de las organizaciones. Comprender los factores que influyen en la adopción de tecnologías puede ayudar a predecir cuáles de ellas podrán ser exitosas; por quién y bajo qué tipo de condiciones serán adoptadas, facilitando el desarrollo de nuevos entornos

interactivos adaptados a las necesidades de las personas y permitiendo así mejorar la experiencia de los trabajadores. En definitiva, es necesario describir los factores que sientan las bases del concepto de adopción tecnológica para tener una mejor comprensión de las variables a tener en cuenta en el proceso de integración de las TIC en las actividades habituales los trabajadores (Fernández, McAnally & Vallejo, 2015).

Esta información puede ser relevante para las compañías que están integrando soluciones tecnológicas en sus organizaciones, de forma que podrán crear sistemas que no generen barreras de adopción. Además, considerando que estamos frente a uno de los cambios generacionales más importantes de las últimas décadas, investigar sobre las percepciones generadas por propuestas tecnológicas, ayudará a las empresas a posicionarse en el nuevo contexto del envejecimiento social. Este contexto hace que a medio-plazo, las empresas tengan que hacer frente a problemáticas donde unas de las soluciones será buscar un mayor vínculo entre las propuestas y los usuarios.

1.2.2 LA INDUSTRIA 4.0

El término Industria 4.0 hace referencia al proceso de transformación digital de la industria y se introdujo por primera vez en la Feria de Hannover (Hannover Messe) del 2011. La Industria 4.0, denominada como la Cuarta Revolución Industrial, surgida de la digitalización e interconexión extrema de la actividad productiva, nace impulsada por el gobierno alemán como una estrategia para el desarrollo de tecnologías en el sector industrial, con el objetivo de potenciar el crecimiento industrial.

Desde su aparición, el concepto Industria 4.0 se ha definido de diversas maneras pero tal y como se recoge en el trabajo de Barros y Muñuzuri (2017), la Industria 4.0 es la estrategia que define la digitalización de la producción y la fabricación de manera que se integran en ellas las tecnologías más avanzadas, tales como el Internet de las cosas (IoT), los datos masivos, sistemas integrados, robots autónomos, ciberseguridad, la fabricación aditiva o la realidad virtual o aumentada, permitiendo flexibilizar la producción y reducir costes en la fabricación. Smit, Kreuzer, Moeller, & Carlberg (2016) lo define como “una organización de los procesos de producción basada en la tecnología y en dispositivos que se comunican entre ellos de forma autónoma a lo largo de la cadena de valor”.

Las máquinas, sistemas informáticos y sensores están conectados durante la cadena de valor e interactúan entre ellos debido a protocolos basados en Internet y análisis de datos para prever errores, autoconfigurarse y adaptarse a posibles cambios (Blanco,

Fontrodona, & Poveda, 2017). Estas conexiones permiten el vínculo y colaboración entre dispositivos, maquinaria o instalaciones de forma que configuran una industria inteligente, con producción descentralizada y adaptable a los cambios en tiempo real.

Son nueve las tecnologías sobre las que se fundamenta la Industria 4.0 pero esto no significa que todas las tecnologías deban estar presentes para conformar las fábricas inteligentes. Según el trabajo de Blanco, Fontrodona, y Poveda, (2017), los pilares tecnológicos son los que se listan a continuación:

- **Análisis de datos (Big Data):** La cantidad de datos que dispondrán los fabricantes aumentará debido al número creciente de sistemas inteligentes. El análisis de dichos datos permitirá identificar patrones, analizar los procesos e identificar ineficiencias en las mismas, de forma que ayudarán a predecir posibles conductas o sucesos.
- **Robots automáticos:** El desarrollo de robots autónomos y flexibles se debe a la mejora de la inteligencia artificial y sensórica. Se prevé que interactúen con personas, aprendiendo de los humanos y ofreciendo mayores prestaciones y capacidad de trabajo colaborativo.
- **Simulación:** Las simulaciones 3D se integrarán en las plantas de producción, permitiendo reproducir el mundo físico en modelos virtuales y realizar pruebas para optimizar la producción.
- **Integración horizontal y vertical de sistemas:** Las organizaciones, los proveedores y los clientes estarán conectados por los sistemas informáticos, facilitando cadenas de valor automatizadas. Esta tendencia se verá reflejada en las propias empresas, enlazando los diversos departamentos de la compañía.
- **Internet de las cosas industrial (IIoT):** La interconexión entre dispositivos permite la comunicación e interacción entre los mismos permitiendo respuestas a tiempo real. La maquinaria conectada a Internet y las avanzadas plataformas de análisis que procesan los datos que se producen facilita la rapidez de las respuestas.
- **Ciberseguridad:** Debido a la conectividad generada por la Industria 4.0 recibe especial atención la necesidad de proteger los sistemas industriales frente a posibles amenazas informáticas. También es necesario proteger la propiedad intelectual y la privacidad de datos personales.

- La nube: Debido al intercambio continuo de datos y la necesidad de reacciones y respuestas a tiempo real, las tecnologías y sistemas estarán en la nube.
- Fabricación aditiva: Hace referencia a la impresión en tres dimensiones. La fabricación aditiva ayudará en la producción de productos personalizados, reduciendo materia prima y stocks.
- Realidad aumentada: Tiene como objetivo proporcionar información en tiempo real a los trabajadores para mejorar la toma de decisiones y los procedimientos en el trabajo. Por ejemplo, pueden obtener instrucciones para ejecutar una tarea visualizando las acciones mediante gafas de realidad aumentada.

Aunque la transformación digital de la industria genere beneficios para el proceso productivo, el producto y el modelo de negocio, implica una serie de retos. La adaptación por parte de las compañías a la hiperconectividad y la complejidad que ello conlleva, puede dificultar la coordinación de los ecosistemas industriales. Para que los procesos productivos sean más eficientes, se deberá tejer un sistema que combine la flexibilidad, gestión de tiempos de respuesta más cortos y un sistema logístico que sustente la rapidez de respuesta.

Según Luís M. Suárez Fernández, Jefe de Área Industria Conectada 4.0 de la Dirección General de Industria de la PYME del Ministerio de Economía, Industria y Competitividad, en la jornada “La transformación Digital” celebrada en junio del 2018 y organizada por IFEMA en colaboración con la Asociación de Fabricantes de Material Eléctrico (AFME), “la digitalización de la industria podría generar 120.000 millones de euros adicionales en el PIB español y un crecimiento del 3% anual en las empresas” (Secretaría General de Industria de la Pyme, 2018).

En esta línea, uno de los efectos de la Industria 4.0 que más debate genera es el impacto de la automatización sobre el empleo, provocando un efecto de sustitución. Por otro lado, hay estudios que hablan sobre el efecto de la complementariedad, esto es, defienden que la automatización complementa las tareas de los trabajadores. Un estudio de Fraunhofer Institute for Systems and Innovation Research (Jäger et al., 2015), afirma que el uso de robots no implicará un impacto negativo en el empleo, sino que tendrá beneficios sobre la productividad, promoviendo el crecimiento del empleo. El estudio recoge que las empresas que utilizan sistemas automatizados muestran una tendencia más baja a producir fuera de Europa, evitando deslocalizaciones y creando empleo. Según Boston Consulting Group, la pérdida de trabajo en la cadena de producción se vería compensada con un aumento de puestos en I+D, demandando

especialistas en software, TIC (Tecnologías de la Información y Comunicación) y mecatrónica (Rüßmann et al., 2015).

La adopción de la Industria 4.0 en empresas manufactureras puede dar lugar a procesos más eficientes y con menores costes. Además, debido a la mejora en los procesos, las empresas podrán producir productos de mayor calidad incluso ofrecer productos mejorados. Por otra parte, gracias al notable incremento de flexibilidad y la rapidez para adaptarse a los requisitos específicos de los clientes, se reduce el tiempo de salida al mercado, siendo posible elaborar series cortas incluso conceptos personalizados. Debido a los cambios anteriormente descritos, los modelos de negocio se verán afectados, de forma que las empresas se verán obligadas a ofertar soluciones en vez de productos, desarrollando servicios añadidos (servitización).

Existe una creciente preocupación sobre el papel que juegan las personas dentro de este nuevo paradigma. Autores como Brynjolfsson & McAfee (2014) hablan sobre una segunda era de las máquinas. Postulan que se espera un crecimiento sin precedentes de la era digital y que serán las máquinas las que tomen decisiones por parte de las personas, perdiendo la parte humana ligada a la producción, a diferencia de la primera era donde las máquinas y avances tecnológicos complementaban a las personas, quienes mantenían la capacidad de decisión y el control sobre el trabajo.

1.2.3 OPERARIO 4.0

Las fábricas inteligentes se caracterizan por una creciente automatización y una creciente personalización. En estos entornos dinámicos, la organización flexible y adaptable del trabajo es crucial tanto para la productividad como para la satisfacción laboral.

En el contexto de las fábricas inteligentes, en las que las máquinas comparten datos y apoyan las funciones mejoradas a nivel de fábrica, los trabajadores siguen viéndose como espectadores en lugar de jugadores activos (Hermann, Pentek, & Otto, 2016). Aun así, la Industria 4.0 representa una gran oportunidad para que los trabajadores se conviertan en parte del sistema de inteligencia. A diferencia de las máquinas, los seres humanos somos naturalmente inteligentes y flexibles, por lo que podemos colaborar en la creación de fábricas más poderosas y eficientes (Peruzzini, Grandi, & Pellicciari, 2018). Es por ello que se considera interesante integrar los factores humanos en los contextos industriales informatizados y digitales.

La colaboración entre personas y máquinas tiende a incluir a los trabajadores, los robots y otros recursos inteligentes para originar una integración holística, a diferentes

niveles de abstracción y coordinación (Hadorn et al., 2015). Varios trabajos recientes se centran en la definición de marcos industriales en los que los trabajadores humanos y los sistemas artificiales se adaptan dinámicamente entre sí y cooperan para lograr objetivos comunes (Romero et al., 2016). Según este punto de vista, las máquinas se deben convertir en el medio para que los trabajadores continúen trabajando y no sean reemplazados (Ferreira, Doltsinis, & Lohse, 2014), para dar cabida a las cuestiones relacionadas con el envejecimiento (Peruzzini & Pellicciari, 2017), discapacidades o inexperiencia (Romero, Noran, Stahre, Bernus, & Fast-Berglund, 2015), y para aumentar la coincidencia de habilidades, comodidad y bienestar (Fiasché, Pinzone, Fantini, Alexandru, & Taisch, 2016). En este contexto, el análisis de quiénes interactúan con las máquinas y cuál es la calidad de su trabajo desde el punto de vista físico y mental es fundamental para definir nuevas modalidades de trabajo, optimizar los flujos de la fábrica y diseñar un lugar de trabajo centrado en el ser humano que se adapte a las necesidades de los trabajadores y a los requisitos del proceso (Romero et al., 2016).

Se ha demostrado cómo las tecnologías digitales avanzadas pueden ayudar positivamente a las personas a interactuar con las máquinas, a trabajar mejor y de manera más eficiente, y a ajustarse a las necesidades de trabajo de la industria manufacturera moderna. Es por ello que la suma de las innovaciones tecnológicas y las personas harán que los sistemas de producción sean más ágiles, integrados, trazables y adaptables (Romero et al., 2015).

El análisis de los factores humanos es fundamental en el contexto industrial, especialmente cuando se produce una interacción entre los sistemas y personas. Sin embargo, el enfoque de diseño convencional centrado en las personas hace hincapié en la inclusión de los factores humanos en el diseño de máquinas y sistemas para responder a las necesidades físicas, psicológicas, sociales y culturales de los seres humanos (ISO 9241-210, 2009). El concepto de Diseño Centrado en las Personas (HCD, *Human Centered Design*) se basa en un marco que sitúa al usuario en el centro del proceso de diseño y tiene por objeto desarrollar soluciones creativas a los problemas, teniendo en cuenta la perspectiva humana en todas las etapas del proceso. En el entorno industrial, adoptar un enfoque HCD significa analizar los factores humanos para comprender los comportamientos y actuaciones de los seres humanos mientras interactúan con los sistemas socio-técnicos, y la aplicación de la comprensión al diseño de las interacciones. Se deben analizar las características psicológicas, sociales, físicas y biológicas que influyen en la interacción entre los usuarios, específicamente los trabajadores y el entorno circundante, representado por

las herramientas, máquinas, sistemas, tareas, trabajos y espacios de trabajo. El objetivo final es diseñarlos para un uso humano seguro, cómodo y efectivo. El bienestar en el lugar de trabajo se relaciona con todos los aspectos de la vida laboral, desde la calidad y seguridad del entorno físico, hasta la forma en que los trabajadores se sienten con respecto a su trabajo, su entorno laboral, el clima en el trabajo y la organización del trabajo. El objetivo de evaluar el bienestar del lugar de trabajo es hacer que los trabajadores sean seguros, sanos, satisfechos y comprometidos con el trabajo. De hecho, el bienestar de los trabajadores es un factor predominante para la eficacia a largo plazo de las organizaciones y garantiza altos niveles de productividad.

La industria ofrecerá oportunidades para los trabajadores mediante el enriquecimiento cualitativo de su trabajo: un ambiente de trabajo con mayor autonomía y oportunidades para autodesarrollo. Este cambio en la forma de trabajar de los operarios se ha caracterizado como Operario 4.0 (Romero et al., 2016). La visión del Operario 4.0 incluye una serie de fábricas del futuro que están perfectamente adaptadas a los trabajadores con diferentes habilidades, capacidades y preferencias. La visión se logra mediante soluciones que potencian a los trabajadores y hacen participar a la comunidad laboral. El empoderamiento del trabajador se basa en la adaptación de la fábrica a las habilidades, capacidades y necesidades del trabajador y en el apoyo al trabajo para que comprenda y desarrolle su competencia. Los trabajadores de la fábrica empezaran a actuar mucho más por iniciativa propia, a poseer excelentes habilidades de comunicación y a organizar su flujo de trabajo personal. Es decir, en los futuros entornos industriales, se espera que actúen como encargados de la toma de decisiones estratégicas y solucionadores flexibles de problemas (Gorecky, Schmitt, Loskyll, & Zuhlke, 2014).

Es por ello que las fábricas del futuro deberán apoyar a los trabajadores actuales en el aprendizaje de nuevas habilidades. El cambio de paradigma de Operario 4.0 no puede tener éxito sólo por la introducción de nuevas tecnologías en la fábrica. Las capacidades personales y habilidades se deben tener en cuenta junto a las preferencias situacionales, recibiendo motivación con los logros de su trabajo.

El marco de Operario 4.0 estudia y comprende la interacción entre el sistema y el ser humano mediante el seguimiento de la carga de trabajo física y cognitiva de los trabajadores por medio de medidas objetivas y subjetivas. Durante el proceso de interacción, la carga de trabajo física y mental de los operadores se ve afectada por las características del sistema y del proceso, así como por factores externos (por ejemplo, la tipología de las tareas, la frecuencia y la duración, el tipo de información que se genera o genera en el proceso, el tipo de dispositivos y herramientas de

apoyo). Los trabajadores producen una experiencia subjetiva en función del entorno, las habilidades y características individuales, las características de las tareas, etc. De ahí, los seres humanos generan una respuesta de tres capas (conductual, cognitiva y afectiva/emocional) de acuerdo con el modelo de interacción de Don Norman (2013).

Las respuestas a la interacción son difíciles de detectar y analizar, pero podrían ser investigadas y objetivadas mediante respuestas fisiológicas humanas que se controlan con las tecnologías disponibles. Según el modelo de interacción de Norman (2013), cualquier respuesta humana se genera automáticamente de manera inconsciente durante la ejecución de una tarea, durante la interpretación de la información o durante las actividades físicas, independientemente del tipo de actividad y de la naturaleza. La respuesta humana depende de factores objetivos (por ejemplo, la disposición del entorno, las características de la tarea, el tiempo disponible) y de factores subjetivos (por ejemplo, las características humanas, las aptitudes, la experiencia, la situación de estrés). Cada vez que un ser humano realiza una acción, su cuerpo y su cerebro generan comportamientos, retroalimentación cognitiva y emocional, como una combinación de posturas físicas, acciones, carga de trabajo mental, impresiones y capacidad de uso, lo que afecta su carga de trabajo física y cognitiva, contribuyendo a la realización de la tarea así como al estrés mental (Wilson, 2000). La respuesta de comportamiento genera la carga de trabajo físico, que puede evaluarse mediante el análisis del confort postural, el estrés físico y la fatiga muscular, como proponen Ma, Chablat, Bennis, Zhang, & Guillaume (2010). Como consecuencia, la inclusión de factores humanos en el diseño de sistemas de producción ayuda a comprender los comportamientos y el rendimiento de las personas que interactúan con los sistemas sociotécnicos, y la aplicación de esa comprensión al diseño de las interacciones.

1.2.4 CONCLUSIONES

Las nuevas tendencias en la Industria 4.0 se centran en la importancia de la colaboración humano-máquina y promueven directamente una cooperación más estrecha entre las personas y las máquinas, fomentando el uso eficiente tanto de las máquinas como de las personas en un entorno cooperativo (Michael Rada, 2015). En este contexto, el trabajo humano asume un papel crucial dentro de las fábricas inteligentes, especialmente cuando se requieren tareas de alta precisión (Hadorn et al., 2015). Es por ello que la apropiación o aceptación tecnológica es determinante. Actualmente, los trabajos humanos menos cualificados han sido reemplazados por medio de la tecnología, lo que conduce a que los trabajos humanos vuelvan a ser más complejos y exhaustivos y a que aumente la importancia de la cooperación

interdisciplinaria (Bonekamp & Sure, 2015). Como consecuencia, numerosos procesos complejos de alta precisión son gestionados manualmente, y muchos de ellos son realizados en colaboración por humanos y robots que cooperan, gracias a los recientes avances tecnológicos en robótica e interfaz humano-máquina (HMI).

En definitiva, es necesario apoyar el desarrollo de fábricas inteligentes junto al impulso de Operadores 4.0 y la creación de soluciones adaptadas a las personas con diferentes habilidades, capacidades y preferencias. Así, los trabajadores estarán más motivados y serán más productivos. Además, las soluciones diseñadas deberán contribuir al bienestar del trabajo, aumentando la satisfacción, la motivación y el compromiso. El objetivo se basa en mejorar el rendimiento y la organización de las fábricas. Para ello, las tecnologías y las tareas deberán estar diseñadas con enfoque HCD, de forma que la tecnología sea apropiada satisfactoriamente por las personas.

1.3 HIPÓTESIS DE LA TESIS

Las hipótesis definidas para la presente tesis doctoral son las siguientes:

Hipótesis 1: En el contexto de implementación de una interfaz industrial, cuanto mayor sea el valor de ajuste TTF entre los atributos de la interfaz y las características de la tarea, disminuirá el tiempo de realización de las tareas y se minimizará el ratio de errores, logrando mejores puntuaciones en las valoraciones de la experiencia de usuario y por consiguiente mejorando el desempeño individual.

Hipótesis 2: La repetición de las tareas tiene implicación en la familiarización con la interfaz y, por consiguiente, independientemente del valor de ajuste TTF, se reduce el tiempo de ejecución de tareas encomendadas.

Hipótesis 3: En el contexto de implementación de una interfaz industrial, cuanto mayor sea el valor de ajuste TTF, las interfaces serán percibidas como útiles y fáciles de usar, exigiendo menos esfuerzo para aprender a utilizarlos, generando mayor satisfacción en el usuario, aumentando su intención continuada de uso y mejorando la experiencia de usuario.

Hipótesis 4: El nuevo modelo ITPX es aplicable a interfaces de carácter no industrial. se adecua a sus características y permite evaluar nivel de apropiación por parte de los usuarios.

1.4 OBJETIVOS DE LA TESIS

A continuación, se describen los objetivos de investigación establecidos:

OBJETIVO 1: Definir un modelo dotando de una visión holística, que evalúa el desempeño individual en función del valor de ajuste TTF, ejecución de tareas y la experiencia de usuario para interfaces industriales.

SUB-OBJETIVO 1.1

Establecer la relación entre el valor de ajuste TTF y el proceso de ejecución de tareas en términos de eficiencia y eficacia recogidas mediante los tiempos de ejecución y ratio de errores.

SUB-OBJETIVO 1.2

Establecer la relación entre el valor de ajuste TTF y el proceso de ejecución de tarea y analizar su impacto en la experiencia de usuario.

OBJETIVO 2: Analizar el efecto que tienen la repetitividad y la familiarización (aprendibilidad) con la interfaz en la ejecución de tareas.

OBJETIVO 3: Crear un indicador del desempeño en base a las características de la interfaz que definen el valor de ajuste TTF.

SUB-OBJETIVO 3.1

Analizar la relación entre el valor de ajuste TTF y la experiencia de usuario.

OBJETIVO 4: Analizar el comportamiento y la adecuación del modelo en interfaces no industriales.

Los objetivos descritos están relacionados con la validación de las hipótesis planteadas (Tabla 1).

Tabla 1: La relación de los objetivos con las hipótesis a validar

Las hipótesis a validar	Los objetivos a cumplir
Hipótesis 1: En el contexto de implementación de una interfaz industrial, cuanto mayor sea el valor de ajuste TTF entre los atributos de la interfaz y las características de la tarea, disminuirá el tiempo de realización de las tareas y se minimizará el ratio de errores,	O1: Definir un modelo dotando de una visión holística, que evalúa el desempeño individual en función del valor de ajuste TTF, ejecución de tareas y la experiencia de usuario para interfaces industriales. - SO 1.1: Establecer la relación entre el valor

<p>logrando mejores puntuaciones en las valoraciones de la experiencia de usuario y por consiguiente mejorando el desempeño individual.</p>	<p>de ajuste TTF y el proceso de ejecución de tareas en términos de eficiencia y eficacia recogidas mediante los tiempos de ejecución y ratio de errores.</p> <ul style="list-style-type: none"> - SO 1.2: Establecer la relación entre el valor de ajuste TTF y el proceso de ejecución de tarea y analizar su impacto en la experiencia de usuario.
<p>Hipótesis 2: La repetición de las tareas tiene implicación en la familiarización con la interfaz y, por consiguiente, independientemente del Valor TTF, se reduce el tiempo de ejecución de tareas encomendadas.</p>	<p>O2: Analizar el efecto que tienen la repetitividad y la familiarización (aprendibilidad) con la interfaz en la ejecución de tareas.</p>
<p>Hipótesis 3: En el contexto de implementación de una interfaz industrial, cuanto mayor sea el valor de ajuste TTF, las interfaces serán percibidas como útiles y fáciles de usar, exigiendo menos esfuerzo para aprender a utilizarlos, generando mayor satisfacción en el usuario, aumentando su intención continuada de uso y mejorando la experiencia de usuario.</p>	<p>O3: Crear un indicador del desempeño en base a las características de la interfaz que definen el valor de ajuste TTF.</p> <ul style="list-style-type: none"> - SO 3.1: Analizar la relación entre el valor de ajuste TTF y la experiencia de usuario.
<p>Hipótesis 4: El nuevo modelo es aplicable a interfaces de tipo no industrial y se adecua a sus características.</p>	<p>O4: Analizar el comportamiento y la adecuación del modelo en interfaces no industriales.</p>

1.5 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Teniendo en cuenta que el presente trabajo es una investigación empírica de tipo explicativo-aplicado, el presente diseño metodológico se ha organizado en tres bloques principales.

- A- **Enmarque científico-tecnológico:** Se realizará un estudio teórico que sustentará la estructura de la investigación mediante un estudio exhaustivo de las teorías y modelos existentes que conformarán la base para el diseño del nuevo modelo.

- B- **Desarrollo metodológico:** Desarrollo del nuevo modelo que será definido mediante una serie de variables obtenidas del estudio teórico y se representará mediante relaciones conceptuales entre los constructos.

- C- **Propuesta y validación de la metodología:** La validación empírica del modelo propuesto se realizará mediante cinco experimentaciones, cada experimentación se realizará con un software distinto.

Para la realización de esta investigación se ha utilizado la metodología Design Inclusive Research (DIR) de Horváth (2007), que partiendo de un enfoque multidisciplinar, busca la obtención de conocimiento para el diseño y la resolución de problemas complejos. Horváth (2007) introduce una fase de acciones creativas entre las acciones de investigación de exploración y de evaluación con el objetivo de: (i) generar conceptos, modelos y metodologías, (ii) probar la factibilidad y la viabilidad de las ideas mediante iniciativas de testeo y (iii) experimentar hacia una mejor comprensión y perfeccionamiento.

Se considera que el DIR es la metodología correcta para esta investigación, ya que las experimentaciones son esenciales para validar las hipótesis propuestas. La figura 1 ilustra los cinco casos de estudios enmarcados en esta investigación que se han llevado a cabo a lo largo del proyecto. A su vez, se ha realizado una vigilancia continua del estado del arte dado el creciente número de investigaciones en esta disciplina.

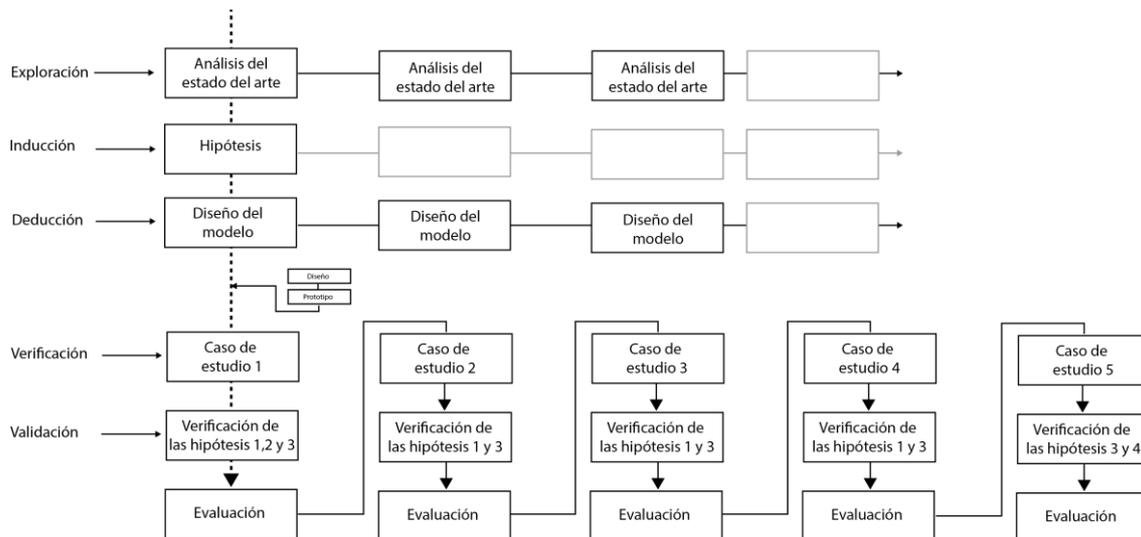


Figura 1: Metodología de investigación planteada siguiendo el modelo DIR (Horváth, 2007)

Los casos de estudio se han realizado en diferentes aplicaciones industriales. A continuación, se muestra una tabla de los casos de estudio realizados, visualizando el software analizado, el método empleado, las personas que han participado y los objetivos a cumplir (Tabla 2).

Tabla 2: Descripción de los casos de estudio realizados en la investigación

Caso de estudio	Hipótesis	Objetivo y sub-objetivo	Software analizado	Método empleado	Participantes
Caso de estudio 1	Hipótesis 1,2,3	Objetivo 1,2,3 SO 1.1, 1.2, 3.1	DoGrind y su rediseño DoGrind 2.0. Son aplicaciones CAM para máquinas rectificadoras de la empresa Danobat S.Coop	ITPX	16
Caso de estudio 2	Hipótesis 1,3	Objetivo 1,2,3 SO 1.1, 1.2, 3.1	Goiti – software para máquina de corte laser de Danobat S. Coop	ITPX	20
Caso de estudio 3	Hipótesis 1,3	Objetivo 1,3 SO 1.1, 1.2, 3.1	CNC Fagor Simulator 1.60 – programa de fresado para la	ITPX	20

			mecanización de piezas desarrollada por Fagor Automation S. Coop		
Caso de estudio 4	Hipótesis 1,3	Objetivo 1,3 SO 1.1, 1.2, 3.1	Innguma - solución de inteligencia competitiva para la captura y filtrado de la información desarrollado por Innguma Technologies SLU.	ITPX	10
Caso de estudio 5	Hipótesis 3,4	Objetivo 3,4 SO 3.1	CITYFIED - software de visualización de datos, el cual permite consultar los datos energéticos recogidos por los sistemas de monitorización en el hogar. El desarrollo de la aplicación se enmarca dentro del proyecto europeo CITYFIED	ITPX	20

1.6 ESTRUCTURA DE LA TESIS

Esta tesis doctoral se divide en 5 capítulos que se detallan a continuación.

El primer capítulo, el cual ha sido expuesto, define el objeto y contexto de la tesis, las hipótesis planteadas, los objetivos perseguidos y la metodología de investigación empleada.

El capítulo dos incluye el enmarque científico-tecnológico y se constituye a través de ocho subcapítulos. Primero, se habla sobre los estándares de interfaces y de la usabilidad. Segundo, se recoge la revisión de la literatura sobre el conocimiento existente respecto de los modelos de adopción y aceptación tecnológica. Después, se ahonda en las teorías de ajuste. A continuación, se describe la carga mental y cognitiva de trabajo. Quinto, se expone la interacción dirigida por objetivos. Tras ello, se recogen las teorías sobre la conciencia de situación. Séptimo, se presenta la teoría relativa a la Experiencia de Usuario (UX). Finalmente, en el análisis crítico del estado del arte, se discuten las posibles contribuciones y oportunidades de investigación identificadas.

En el tercer capítulo, se presenta el método ITPX (*Individual Task Performance Experience*). Por un lado, se describe la base teórica utilizada para su creación y se definen las claves y elementos que componen el nuevo modelo.

En el cuarto capítulo, se expone el desarrollo y la validación del modelo ITPX. En primer lugar, se recoge la metodología y el procedimiento para su aplicación. En segundo lugar, se presentan los cinco casos de estudio llevados a cabo con el objetivo de validar las hipótesis y objetivos planteados. Después, se recogen las conclusiones extraídas de las experimentaciones. Finalmente, se evalúan los resultados obtenidos de las experimentaciones, proponiendo el ITPX indicador

Finalmente, en el último capítulo, se muestran las conclusiones y se validan las hipótesis de partida planteadas. Además, se describen las aportaciones más relevantes de la investigación. Por otro lado, se listan las publicaciones realizadas en diferentes congresos, libros y revistas indexadas. Por último, se indican las limitaciones y se sugieren futuras líneas de investigación.

Capítulo II

Enmarque científico tecnológico

2 ENMARQUE CIENTÍFICO TECNOLÓGICO

Este capítulo recoge la revisión de la literatura. Primero, se muestran los modelos de adopción y aceptación tecnológica con el objetivo de entender el proceso de apropiación de las tecnologías. Tras ello, se recogen las teorías de ajuste que establecen la relación entre las órdenes de las tareas y las capacidades del sistema. Además, se recogen los conceptos ergonómicos y factores humanos para el diseño de sistemas y equipos de trabajo y, tras ello, se profundiza en el concepto de carga mental de trabajo. A continuación, se define el proceso para el análisis de tareas, y, en el siguiente apartado, se muestran los modelos sobre la interacción dirigida por objetivos. Se expone también el concepto de la conciencia de situación por la importancia de comprender lo que ocurre alrededor de una persona durante la realización de las tareas. Tras ello, se recoge la literatura relacionada con la UX, hablando sobre los diversos modelos y la implicación que tiene la UX en la adopción tecnológica y el diseño de interfaz de usuario. Para finalizar, se habla sobre la importancia de los estándares de las interfaces y la usabilidad.

2.1 LOS ESTÁNDARES DE LAS INTERFACES Y LA USABILIDAD

Los estándares de la usabilidad y la interacción entre humano y máquina han sufrido una transición hacia la inclusión de conceptos relacionados con la experiencia de usuario en las diversas versiones de la normativa ISO. En este apartado se recoge una revisión bibliográfica sobre los estándares de las interfaces y la usabilidad y la relación con la UX.

2.1.1 LA USABILIDAD

Los sistemas digitales se asocian con el término de usabilidad, vinculadas a la norma ISO 9241-11: 2018 y la ISO 25010: 2011. La nueva versión de la norma ISO 9241-11: 2018 mantiene y desarrolla los conceptos de la norma de 1988, extendiendo su definición original para aplicarse a sistemas y servicios. La última actualización se define de la siguiente manera "la medida en que un sistema, producto o servicio puede ser utilizado por usuarios específicos para lograr metas específicas con efectividad, eficiencia y satisfacción en un contexto específico de uso". La norma ha sido ampliada para incluir los enfoques de usabilidad y la UX.

Además, la norma ISO 9241-11: 2018 destaca que la usabilidad es un concepto más amplio de lo que habitualmente se entiende como "facilidad de uso", por lo que es

relevante para: (i) el uso continuado que permite a los usuarios alcanzar sus objetivos de manera efectiva, eficiente y con satisfacción; (ii) el aprendizaje; (iii) el uso infrecuente; (iv) el uso por personas con distintas capacidades; (v) minimizar el riesgo y las consecuencias de errores ocasionados durante el uso; y (vi) el mantenimiento, ya que permite completar tareas de mantenimiento de manera efectiva, eficiente y satisfactoria (Falco, Núñez, Tanzi, & Muñoz, 2018).

La ISO 25010: 2011, por su parte, especifica que la calidad de un sistema es el grado en que el sistema satisface las necesidades de los usuarios, de forma que proporciona valor. La norma define la usabilidad como el grado en que un sistema puede ser utilizado por usuarios para alcanzar objetivos específicos con efectividad, eficiencia y satisfacción en un contexto de uso determinado.

El modelo de calidad del producto definido en la norma ISO 25010: 2011 comprende ocho características de calidad: idoneidad funcional, eficiencia del desempeño, compatibilidad, usabilidad, fiabilidad, seguridad, mantenibilidad y portabilidad, junto a 31 subcaracterísticas que lo conforman (Figura 2).

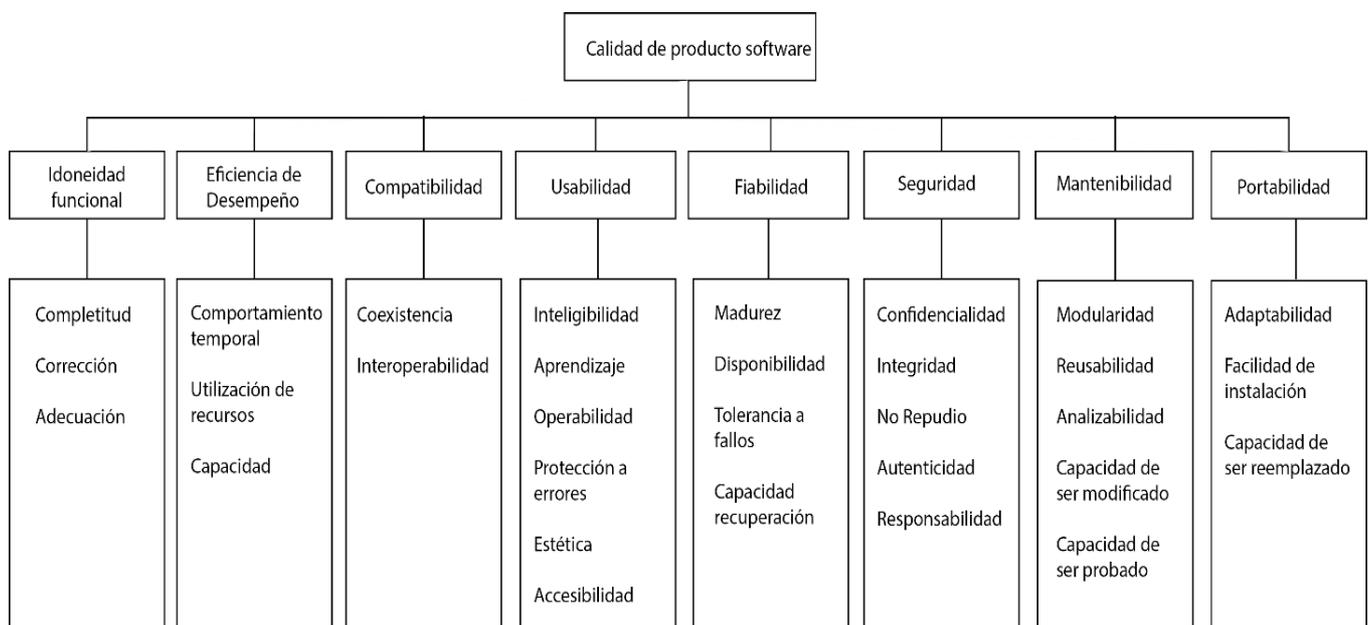


Figura 2: Calidad de producto software ISO 25010:2011

La definición de la usabilidad proporcionada por la norma ISO 25010:2011, se compone de las siguientes subcaracterísticas. La (i) inteligibilidad o reconocimiento de la adecuación, siendo el grado en el que los usuarios pueden reconocer si un sistema

es apropiado para cumplir con sus necesidades; (ii) la aprendibilidad, definida como el grado en que un sistema puede ser utilizado por un usuario para conseguir aprender a utilizar el sistema con efectividad, eficiencia, ausencia de riesgo y satisfacción en un contexto de uso específico; (iii) operabilidad o el grado en el cual un sistema posee atributos que lo hacen fácil de usar y controlar; (iv) protección contra errores, siendo el grado en que un sistema protege a los usuarios contra errores; (v) estética de la interfaz de usuario con el que se mide el grado en el cual una interfaz de usuario permite una interacción agradable y satisfactoria para el usuario y por último, la (vi) accesibilidad o el grado en el que un sistema puede ser utilizado por personas con diferentes capacidades para alcanzar un objetivo.

Si comparamos las normas ISO 9241-11: 2018 e ISO 25010: 2011, se observa que las dos especifican que un sistema debe ayudar a los usuarios a alcanzar objetivos específicos con efectividad, eficiencia y satisfacción en un contexto específico de uso. La norma ISO 9241-11: 2018, sin embargo, incluye el enfoque UX además del enfoque de usabilidad tal y como especifica la norma ISO 25010: 2011.

2.1.2 LA USABILIDAD Y LA UX

Si comparamos los principales enfoques de la UX con la norma ISO 9241-11:2018, podemos observar que anteriormente, el concepto de satisfacción, se relacionaba exclusivamente a la ausencia de incomodidades y actitudes positivas hacia el producto o sistema. Ahora, sin embargo, se integra el enfoque del UX, definiendo la satisfacción como la medida en que las respuestas físicas, cognitivas y emocionales del usuario que resultan del uso de un producto, sistema o servicio satisfacen las necesidades y expectativas del usuario.

Existen diversas definiciones sobre el UX y cada una de ellas añade distintas facetas. En la Tabla 3 se presenta una adaptación de Masip (2013) donde se comparan los constructos que recogen los siguientes autores y normas; Alben (1996), Morville (2005), Hassenzahl & Tractinsky (2006), Desmet & Hekkert (2007), Sward & Macarthur (2007), Pirker (2011) y las normas ISO 25010:2011 e ISO 9241-11:2018.

En la Tabla 3 se puede observar que la facilidad de uso y la usabilidad son las facetas más repetidas en las definiciones analizadas de la UX. Por otra parte, en los trabajos más recientes, se observa la tendencia de integrar el componente experiencial, añadiendo aspectos como la deseabilidad o la satisfacción. De esta forma, se puede

observar que la UX está tomando una posición relevante en el análisis de la usabilidad de sistemas.

Tabla 3: Facetas del UX. Adaptado de Masip (2013)

	Fiabilidad	Facilidad de uso	Jugabilidad	Accesibilidad	Plasticidad	Emoción / satisfacción	Deseabilidad	Usabilidad	Encontrabilidad	Comunicabilidad	Interculturalidad	Valorabilidad	Credibilidad	Contexto
Calidad de la experiencia Alben (1996)	X	X		X	X			X		X	X			X
UX honeycomb Morville (2005),		X		X			X	X				X	X	
A unified view of UX Hassenzahl & Tractinsky (2006)	X	X				X	X	X	X	X	X		X	X
Product experience framework Desmet & Hekkert (2007)		X				X	X			X	X	X		
Making UX a business strategy Sward & Macarthur (2007)		X												X
UX of iTV Pirker (2011)	X	X	X			X	X	X	X			X		X
ISO 25010: 2011		X		X			X	X	X					X
(ISO 9241-11:2018)		X				X		X						

Además, tal y como se ha descrito, las normas ISO 25010: 2011e ISO 9241-11: 2018, especifican la importancia de ofrecer sistemas que ayuden a alcanzar objetivos o tareas con efectividad, eficiencia y satisfacción. En esta línea, Bevan, Carter & Harker (2015) definen la efectividad, eficiencia y satisfacción de la siguiente forma (Tabla 4).

Tabla 4: Medidas de efectividad eficiencia y satisfacción. Bevan, Carter & Harker (2015)

Efectividad	Eficiencia	Satisfacción
Tarea completada	Tiempo de tarea	Satisfacción general
Objetivos alcanzados	Eficiencia en el tiempo	Satisfacción con las características
Errores en una tarea	Rentabilidad	Uso opcional
Tarea con errores	Relación de tiempo productivo	Utilización de las funciones
Intensidad de error de la tarea	Acciones innecesarias	Proporción de usuarios que se quejan
	Cansancio	Proporción de quejas de los usuarios sobre una característica en particular
		Confianza del usuario
		Placer del usuario
		Comodidad física

A su vez, para poder cumplir con los requisitos detallados en la Tabla 4, esto es, para lograr mejorar la efectividad, eficiencia y satisfacción derivados del uso de sistemas digitales, es necesario analizar el enfoque de usabilidad junto al UX.

Por ello, para el análisis de la usabilidad, se deberían considerar las características establecidas en la norma ISO 25010: 2011; (i) inteligibilidad o reconocimiento de la adecuación, (ii) aprendibilidad, (iii) operabilidad, (iv) protección contra errores, (v) estética de la interfaz, y (vi) accesibilidad, descritas en la Tabla 5.

Tabla 5: Descripción de las características de usabilidad

Característica de usabilidad	Pautas a seguir para cumplir con las características
Inteligibilidad o reconocimiento de la adecuación	Descripción exhaustiva Cobertura de la demostración Autodescripción del punto de entrada

Aprendibilidad	<p>Completitud de la guía del usuario</p> <p>Valores propuestos de los campos de entrada</p> <p>Comprensión de mensajes de error</p> <p>Interfaz de usuario autoexplicativa</p>
Operabilidad	<p>Coherencia operativa</p> <p>Claridad del mensaje</p> <p>Personalización funcional</p> <p>Personalización de la interfaz de usuario</p> <p>Capacidad de monitorización</p> <p>Capacidad de deshacer</p> <p>Categorización comprensible de la información</p> <p>Consistencia de la apariencia</p> <p>Compatibilidad con dispositivos de entrada</p>
Protección contra errores	<p>Evitar errores en la operación del usuario</p> <p>Corrección de errores de entrada de usuario</p> <p>Recuperación de errores del usuario</p>
Estética de la interfaz	<p>Estética o apariencia de las interfaces de usuario</p>
Accesibilidad	<p>Accesibilidad para los usuarios con discapacidad</p> <p>Adecuación de idiomas soportados</p>

2.2 MODELOS DE ADOPCIÓN Y ACEPTACIÓN TECNOLÓGICA

En este apartado se recoge la revisión de literatura sobre los Modelos de Adopción Tecnológica, los cuales tratan de predecir la conducta de un individuo a la intención de actuar frente a una innovación tecnológica. Cada modelo se compone mediante variables de diversa índole, determinando la intención de uso hacia un sistema. Los Modelos de Adopción Tecnológica revisados, se listan a continuación:

- Teoría de la Difusión de la Innovación (IDT) - (Rogers, 1962)
- Teoría de la Acción Razonada (TRA) - (Fishbein & Ajzen, 1975)
- Teoría del Comportamiento Planificado (TPB) - (Ajzen, 1985)
- Teoría Social Cognitiva (SCT) - (Bandura, 1986)
- Modelo de Aceptación Tecnológica (TAM) - (Davis, 1989)
- Modelo de Utilización del PC (MPCU) - (Thompson, Higgins, & Howell, 1991)
- Modelo de Aceptación Tecnológica 2 (TAM2) - (Venkatesh & Davis, 2000)
- Teoría Unificada de la Aceptación del Uso de la Tecnología (UTAUT) - (Venkatesh, Morris, Davis, & Davis, 2003)
- Modelo de combinación del Modelo de Aceptación Tecnológica y la Teoría del Comportamiento Planificado (TAM-TPB) - (Yayla, Ali Alper & Hu, 2007)
- Modelo de Aceptación Tecnológica 3 (TAM3) - (Venkatesh & Bala, 2008)

2.2.1 TEORÍA DE LA DIFUSIÓN DE LA INNOVACIÓN (IDT) (E.M. Rogers, 1962)

La Teoría de la Difusión de la Innovación (IDT, *Innovation Diffusion Theory*) de Rogers, (1962) ofrece un trabajo conceptual que discute la aceptación de la tecnología a partir de la interrelación de ésta con las dimensiones sociales y psicológicas del usuario, y presenta un análisis teórico preciso que investiga la difusión de la innovación en este sentido (Pulido & Torrado, 2004). Según Rogers, la difusión es el proceso de comunicación que tiene como objeto socializar nuevas ideas e invenciones (innovaciones) entre los miembros de un determinado sistema social, en un tiempo establecido y a través de diversos canales de comunicación. La innovación por su parte, se define como práctica u objeto percibido como nuevo por un individuo.

La Teoría de la Difusión de la Innovación explica el proceso de decisión de la innovación, dividida en etapas que conducen a la aceptación o rechazo del uso de una innovación (Kripanont, 2007). El modelo teórico es principalmente popular entre los investigadores para modelar y predecir el proceso de decisión de innovación de los usuarios.

La difusión de la innovación se analiza utilizando un proceso de cinco pasos a lo largo del tiempo, lo que da como resultado un proceso de toma de decisiones, como se muestra en la Figura 3.

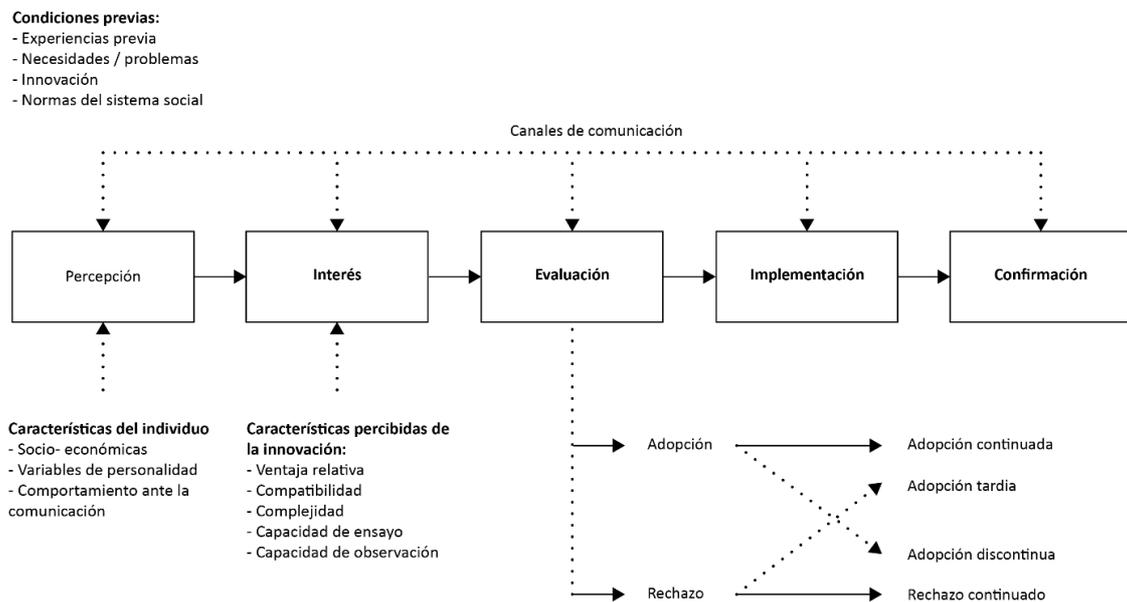


Figura 3: Teoría de la Difusión de la Innovación (Rogers, 1962)

Según los estudios de Rogers, la aceptación o rechazo de las propuestas debe pasar por cinco etapas:

- **Percepción:** es el primer acercamiento de la persona con la innovación, tiene conocimiento y entendimiento de ella.
- **Interés:** se desarrolla una actitud crítica frente a la innovación, se determinan aspectos positivos y negativos.
- **Evaluación:** después de analizar los pros y contras se acuerda aceptar la innovación o, caso contrario, se la rechaza y se termina el proceso.
- **Implementación:** es el periodo en el cual se prueba la invención antes de adoptarla totalmente.

- **Adopción:** es la etapa de confirmación y aceptación definitiva. Esta etapa es la más importante; puesto que, el éxito radica en el compromiso de los adoptantes por utilizar y mantener el proceso de innovación.

En cuanto a los elementos que componen el modelo teórico, Rogers, (1995) postula que la innovación posee cinco atributos que explican por qué ciertas innovaciones se adoptan más rápidamente que otras. Los atributos se listan a continuación:

- **Ventaja relativa:** la idea o producto debe demostrar que es beneficioso frente a la inexistencia de otros en su especie o frente a otros existentes. Se define como el grado en que una innovación es percibida como buena idea.
- **Visibilidad:** los beneficios deben ser visibles o tangibles para el usuario.
- **Compatibilidad:** la innovación debe estar acorde al contexto y realidad de la sociedad donde se la quiera implantar. Se define como la capacidad de pervivir con los valores existentes y el sistema social.
- **Complejidad:** se debe considerar el grado de dificultad para el aprendizaje o manejo. Se define como la percepción de la dificultad de entendimiento de uso
- **La experimentación:** la innovación debe tener la capacidad de ser sometidos a prueba antes de ser aprobada o usada.

Los atributos listados son predictores del ratio de adopción de una tecnología. Según Rogers, entre el 49% y el 87% de la varianza de ratio de adopción se explica mediante los cinco atributos. Para que una innovación pueda ser adoptada con mayor rapidez, debe contar con un nivel perceptivo alto de ventaja relativa, compatibilidad, experimentación y visibilidad, mientras debe poseer una baja complejidad.

2.2.2 TEORÍA DE LA ACCIÓN RAZONADA (TRA) - (Fishbein & Ajzen, 1975)

La Teoría de Acción Razonada (TRA, *Theory of Reasoned Action*) tiene su origen en la psicología social, explica las relaciones entre creencias, actitudes, intenciones, conducta y los procesos grupales y fue desarrollada por Fishbein & Ajzen (1975) como una mejora sobre la Teoría de la Integración de la Información. El modelo ha sido utilizado para predecir el comportamiento de los individuos al realizar una tarea u objetivo voluntario predeterminado. La teoría postula que las personas utilizan metódicamente la información que tienen disponible y se establece como un predictor de la conducta de un individuo a la intención de actuar, definiendo la intención en términos de acción, objetivo y contexto.

Fishbein & Ajzen (1975) establecen que el comportamiento puede describirse comúnmente como impredecible y rebelde o conforme a la aceptación social. Factores como la cultura, la actitud, las emociones, los valores, la ética, la autoridad, la comunicación o la persuasión pueden influir en el comportamiento humano. La intención es la acción de una persona que la impulsa a hacer algo específico, es la relación entre una persona y su acción. La actitud se define como un estado de ánimo o percepción que favorece o desfavorece una acción y la norma subjetiva como la influencia de otras personas en el comportamiento de cada individuo, lo que tiene un efecto consecuente sobre la intención de comportamiento.

La acción razonada establece que las personas toman en cuenta las implicaciones que tiene el realizar o no una conducta determinada. Esta teoría sostiene que las intenciones de un individuo se dan en función de dos determinantes: uno de carácter personal (actitud) y otro que tiene que ver con la influencia social (norma subjetiva). Es decir, cuando un individuo realiza una actividad inducido por su actitud, puede depender de los resultados que obtiene de la acción y de su percepción sobre la presión que ejerce el contexto (León Rubio, 2004). Por tanto, ambos factores influirán en su intención de comportamiento. Varios estudios han identificado la relación entre intención de comportamiento (BI), actitud (A) y norma subjetiva (SN), mediante la ecuación " $BI=A+SN$ ", prediciendo un comportamiento en la realización de una acción voluntaria (Davis, 1989). Esto complementa a la teoría de Sheppard, Hartwick, & Warshaw, (1988), que explican cómo una intención conductual de un individuo de realizar una determinada tarea depende en gran medida de su actitud o comportamiento hacia los procesos necesarios para llevarla a cabo.

Como se ilustra en la Figura 4, cuando un usuario tiene una fuerte actitud o comportamiento hacia la realización de una tarea y una alta consideración de la norma subjetiva, tendrá una fuerte intención de comportamiento para llevar a cabo su tarea.

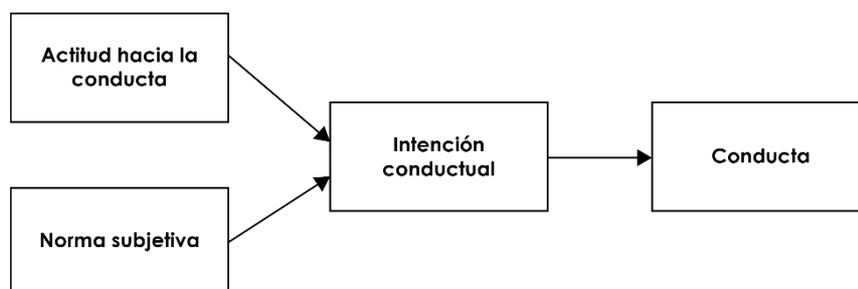


Figura 4: Teoría de la Acción Razonada (Fishbein & Ajzen, 1975)

La TRA se utiliza como una de las teorías que ayudan a comprender el concepto de adopción tecnológica, ya que en este caso se considera que la tecnología es el objeto, cuyos atributos son la utilidad y la facilidad de uso.

La principal debilidad de la TRA es que el comportamiento estudiado se lleva a cabo bajo control consciente y voluntario de la persona, esto es, la teoría es únicamente aplicable a comportamientos conscientes (Ajzen, 1991). Cualquier conducta que no se considere consciente como decisiones irracionales o tareas habituales no pueden ser explicadas mediante la TRA. De todas formas, los autores consideran que, aun existiendo la citada limitación, la teoría proporciona una buena evaluación de la intención de comportamiento.

La adaptación de la TRA ha contribuido al desarrollo inicial del Modelo de Aceptación Tecnológica (TAM) (Davis, 1989).

2.2.3 TEORÍA DEL COMPORTAMIENTO PLANIFICADO (TPB) - (Ajzen, 1985)

La Teoría del Comportamiento Planificado (TPB, *Theory of Planned Behavior*) de Ajzen, (1985) es una evolución de la Teoría de Acción Razonada (Fishbein & Ajzen, 1975), siendo su objetivo (a) predecir la adopción tecnológica teniendo en cuenta la intención que poseen los individuos para utilizar la tecnología y (b) controlar el comportamiento percibido que interviene en la intención de una conducta y la conducta real de una persona, lo cual representa la principal limitación de la TRA. El comportamiento percibido se define como la forma en que los individuos ven su comportamiento ante la acción que se propone como fácil o difícil (Ajzen, 1991). Además, Ajzen & Cote (2008) lo definen como el potencial que tiene una persona para completar un comportamiento específico.

La teoría del Comportamiento Planificado (TPB) tiene la capacidad de evaluar la intención conductual de un individuo, basada en su actitud, presión social y motivación intencional, para actividades específicas o acciones voluntarias (Ajzen, 1985).

El TPB explica el comportamiento humano como una acción influenciada por creencias conductuales, creencias normativas y creencias de control, que como se ilustra en la Figura 5, son predictores de la actitud hacia el comportamiento, la norma subjetiva y el control del comportamiento percibido, respectivamente

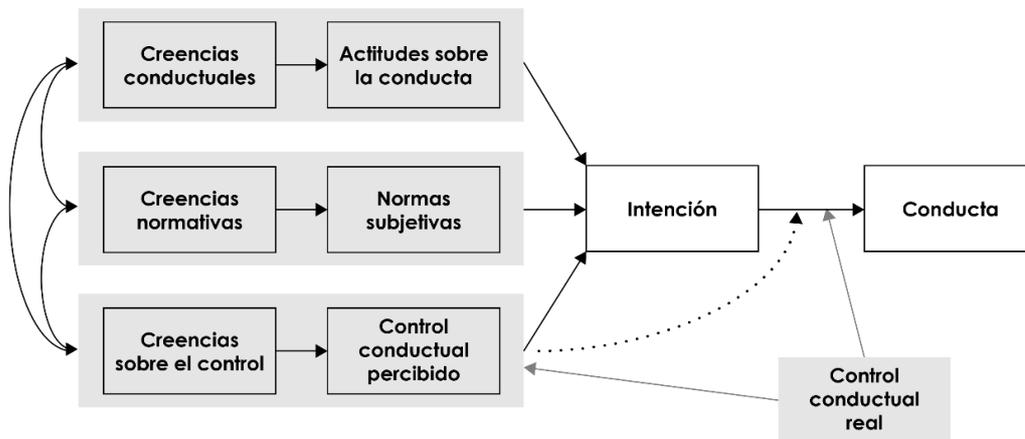


Figura 5: Teoría del Comportamiento Planificado (Ajzen, 1985)

Las creencias conductuales son aquellas que se producen a partir de actitudes positivas o negativas hacia el comportamiento. Las creencias normativas provienen de expectativas de comportamiento percibidas y las creencias de control son aquellas que surgen de la existencia de factores que pueden influir en el comportamiento (Kripanont, 2007). La norma subjetiva se identifica como la influencia que la sociedad tiene en el comportamiento de una persona y puede cambiar el plan original o el comportamiento de los usuarios de forma negativa o positiva.

Fishbein & Ajzen (1975) afirman que cuando los usuarios poseen una actitud positiva hacia el aprendizaje relacionado con el uso de tecnologías, la intención de uso es mayor y en consecuencia la aumenta el nivel de adopción.

El TPB ha sido un modelo muy utilizado para los estudios del comportamiento (Ajzen & Cote, 2008). Sin embargo, Mathieson (1991), Chau & Hu, (2002) evaluaron el modelo de TPB y descubrieron que el control del comportamiento percibido, es más débil que los factores del TAM en su capacidad de predecir la aceptación de la tecnología por parte del usuario.

2.2.4 TEORÍA SOCIAL COGNITIVA (SCT) - (Bandura, 1986)

La Teoría Social Cognitiva (SCT, *Social Cognitive Theory*) se desarrolló en base a la Teoría del Aprendizaje Social publicada por (Miller & Dollar, 1941) y fue propuesto

como teoría para describir, entender, cambiar y predecir el comportamiento humano (Bandura, 1986).

Bajo esta perspectiva el autor considera que el contexto causa efecto en el comportamiento y viceversa. Utiliza tres constructos explicativos: (i) las expectativas de resultados de desempeño en el propio trabajo y las expectativas personales; (ii) la autoeficacia como el convencimiento del individuo de su propia capacidad para utilizar la tecnología, y (iii) el afecto de una persona para un comportamiento particular a la hora de utilizar un sistema de información.

Lo más relevante de esta teoría es la introducción del concepto de la autoeficacia, que hace referencia a la percepción que una persona tiene sobre su capacidad para realizar satisfactoriamente una tarea (Figura 6). El SCT no se utiliza específicamente para predecir comportamientos de aceptación, sino para proporcionar información sobre el efecto de las características de cada individuo sobre su autoeficacia y la relación que existe con sus resultados de aceptación de la tecnología.

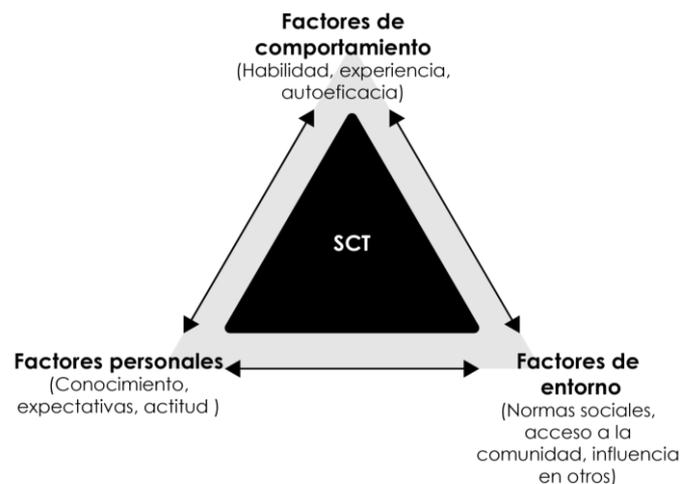


Figura 6: Teoría Social Cognitiva – SCT (Bandura, 1986)

2.2.5 MODELO DE ACEPTACIÓN TECNOLÓGICA (TAM) - (Davis, 1989)

El Modelo de Aceptación Tecnológica (TAM, *Technology Acceptance Model*) fue desarrollado por Fred Davis, en el año 1989 y es una de las adaptaciones más significativas del modelo TRA de Ajzen y Fishbein (1975). El Modelo de Aceptación Tecnológica (TAM) ha sido el enfoque más popular para estudiar la adopción de una tecnología (Davis, 1989), concretamente fue diseñado para predecir la aceptación de los sistemas de información por los usuarios en las organizaciones.

Esta teoría pretende predecir cómo los usuarios aceptan y utilizan una tecnología. El modelo sugiere que cuando se presenta una tecnología específica a un usuario en concreto, existen una serie de factores que influyen en su decisión de utilizarla (Davis, Bagozzi et al. 1989). El modelo considera el efecto de factores externos sobre las creencias, actitudes e intenciones (Figura 7).

Como se muestra en la Figura 7, el TAM utiliza la metodología de los valores esperados de la Teoría de Acción Razonada y reemplaza las creencias actitudinales por dos constructos; la facilidad de uso y la utilidad percibida, que determinan el uso de un sistema por parte de un individuo. Además de las variables mencionadas, se incluyen en el modelo la actitud hacia el uso de la tecnología y la intención de uso.

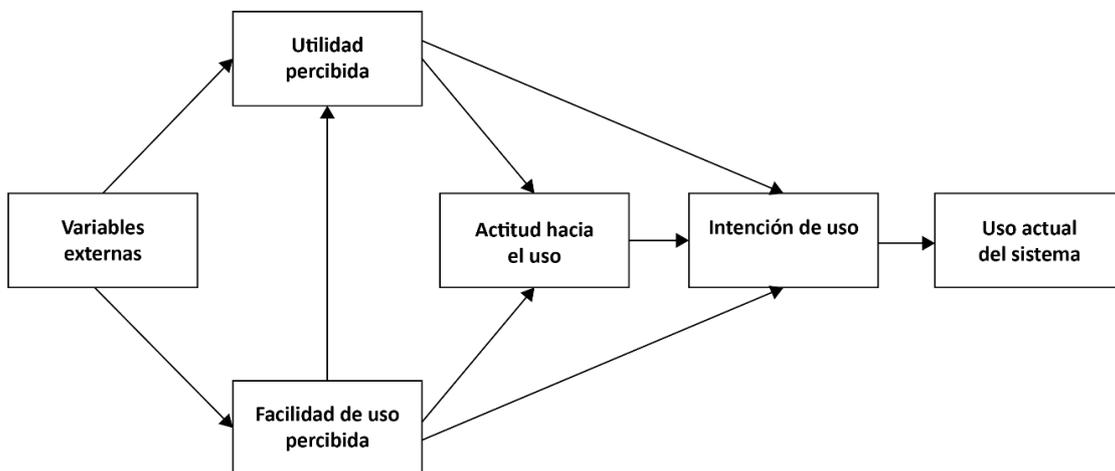


Figura 7: Modelo de Aceptación Tecnológica (TAM) (Davis, 1989)

Son cuatro las variables principales que determinan el uso efectivo de la tecnología:

- **Facilidad de uso percibida** (PEOU, *Perceived Ease of Use*): Grado en el que una persona estima que el uso de un determinado sistema mejorará su rendimiento en el trabajo (Davis, 1989).
- **Utilidad percibida** (PU, *Perceived Usefulness*): grado en que una persona cree que usando un sistema en particular mejorará su desempeño en el trabajo (Davis, 1989).
- **Actitud hacia el uso** (ATU, *Attitude Toward Use*): Interés positivo o negativo en usar un sistema (Fishbein & Ajzen, 1975).

- **Intención de uso** (BI, *Behavioural Intention*): El grado de motivación de un individuo para comenzar, continuar y completar una acción (Fishbein & Ajzen, 1975).

Aun así, existen otras variables externas que influyen en el uso de un sistema, tales como: características de diseño del sistema, atributos de los usuarios, características de las tareas, influencias políticas o estructura organizativa, entre otras.

Según Davis, las variables externas influyen en el PEOU. PU, a su vez, está determinado por las variables externas y PEOU. La ATU, se determina en base a PU y PEOU. El uso del sistema está determinado por BI, que a su vez está determinado por ATU y PU. Esta última relación se debe a que BI puede no estar determinado por variables afectivas solamente, sino que también se forma pensando en cómo se verá mejorado el rendimiento en el trabajo. En definitiva, la facilidad de uso percibida tiene una influencia directa en la utilidad percibida, ya que un sistema es más útil si es más fácil de usar; cuanto menos esfuerzo exija el sistema, mayor será su utilización y por consiguiente mejorará el rendimiento (Venkatesh et al. 2003).

A pesar de las numerosas investigaciones sobre la adopción tecnológica, el Modelo de Aceptación Tecnológica (TAM) ha sido el modelo más validado por estudios y trabajos de investigación, confirmando su solidez y capacidad para predecir la adopción tecnológica y demostrando la intención hacia el uso con un 40% de coeficiente de determinación.

Existen otros modelos que se han construido en base a TAM. Después de un periodo de validación del TAM, el modelo se expandió agregando nuevos factores para explicar mejor la aceptación de las tecnologías, las cuales se adaptan a distintas situaciones y tecnologías. Entre los más importantes, en base a su efectividad, están el TAM2 (Venkatesh & Davis, 2000), la Teoría Unificada de Aceptación de la Tecnología (UTAUT) (Venkatesh et al., 2003) y TAM3 (Venkatesh & Bala, 2008) que se describen sucesivamente.

2.2.6 MODELO DE UTILIZACIÓN DEL PC (MPCU) - (Thompson et al., 1991)

El modelo se basa en la Teoría del Comportamiento Humano de Triandis (1979) que difiere en algunos aspectos de la Teoría de la Acción Razonada porque distingue entre componentes cognitivos y afectivos de las actitudes y fue desarrollada por Thompson et al., (1991). Esta teoría trata principalmente de medir el grado de utilización de un

PC por parte de un trabajador cuando el uso no es obligado por la organización, sino que depende del usuario.

La teoría afirma que es probable que el uso del PC se vea influenciado por varios factores como los sentimientos del individuo (afecto) hacia el uso de PCs, normas sociales relativas al uso de los ordenadores en el lugar de trabajo, hábitos generales relacionados con el uso del ordenador, consecuencias esperadas por el usuario al utilizar el PC y el alcance de las condiciones que están presentes en el lugar de trabajo para facilitar el uso del PC. Estos constructos se representan en la Figura 8.

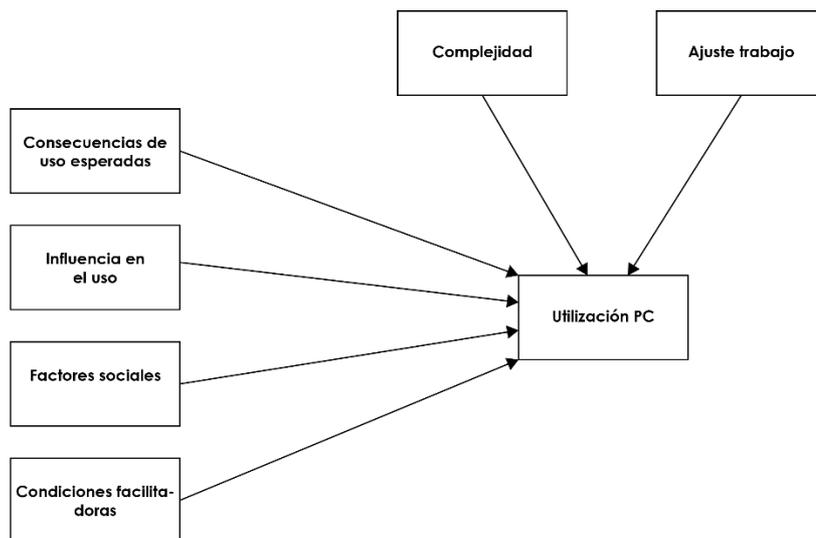


Figura 8: Modelo de utilización del PC (Thompson et al., 1991)

2.2.7 TEORÍA DE ACEPTACIÓN TECNOLÓGICA 2 (TAM2) - (Venkatesh & Davis, 2000)

TAM2 (Venkatesh & Davis, 2000) es una extensión de TAM (Davis, 1989) que define la utilidad percibida y la intención hacia el uso, en términos de la influencia social y procesos cognitivos. El TAM2 incorpora variables de índole social como; La norma subjetiva; la voluntariedad y la imagen; y, además, agrega constructos relacionados con los procesos cognitivos instrumentales, tales como: experiencia; calidad de salida; demostrabilidad de los resultados, y la facilidad de uso percibida. Se definen a continuación las variables que componen el TAM2.

- **Norma Subjetiva:** La percepción que posee un individuo acerca de lo que la mayoría de la gente que es importante para él piensa que éste debe realizar o no en función de una situación en cuestión (Fishbein & Ajzen, 1975).
- **Voluntariedad:** Grado en que las personas perciben que la decisión de adopción de una herramienta no es de carácter obligatorio.
- **Imagen:** Grado en que se percibe que el uso de un sistema mejora el propio estatus social.
- **Experiencia:** Experiencia con respecto al uso de un sistema.
- **Relevancia en el Trabajo:** Percepción sobre el grado de aplicación de un sistema en el trabajo.
- **Calidad de la Salida:** Percepción sobre la calidad con la que el sistema realiza las tareas en cuestión.
- **Demostrabilidad de Resultados:** La tangibilidad de los resultados obtenidos con el sistema.

El modelo TAM 2 (Figura 9) señala que la norma subjetiva no influye solamente en la utilidad percibida sino también en la intención de uso y la imagen.

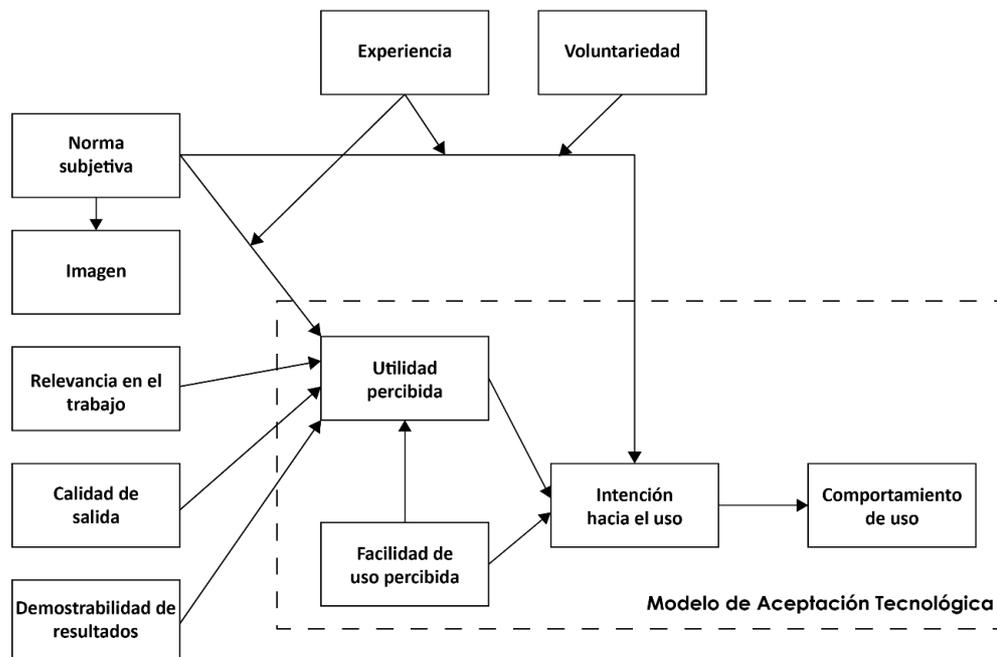


Figura 9: Modelo de Aceptación Tecnológica 2 - TAM2 (Venkatesh & Davis, 2000)

En el TAM2, una persona puede percibir que el uso de un sistema conducirá a mejoras en su rendimiento en el trabajo (utilidad percibida) debido a la mejora de la imagen, más allá de los beneficios directos de desempeño atribuibles a la utilización del sistema. La norma subjetiva tiene efecto en la imagen y la utilidad percibida, que establece diferencias de cumplimiento dependiendo del uso voluntario u obligatorio de la tecnología y la experiencia.

En relación a los procesos cognitivos instrumentales, la relevancia en el trabajo, la calidad de salida y la demostrabilidad de los resultados influyen directamente en la utilidad percibida, es decir, si un sistema produce resultados efectivos y deseados por el usuario lograrán entender lo útil que es un sistema. El TAM2 también utiliza la variable de la facilidad de uso percibida, proveniente del TAM (Davis, 1989) y tiene que ver con la menor cantidad de esfuerzo para utilizar los sistemas y el aumento en el rendimiento laboral. Existe evidencia empírica de que la facilidad de uso se vincula de manera significativa a la intención de uso, tanto directa como indirectamente a través de su impacto en la utilidad percibida (Davis, 1989; Venkatesh, 1999).

2.2.8 TEORÍA UNIFICADA DE LA ACEPTACIÓN DEL USO DE LA TECNOLOGÍA (UTAUT) - (Venkatesh et al., 2003)

De las teorías y métodos mencionados anteriormente, Venkatesh et al., (2003) plantearon la síntesis de las mismas, dando lugar a un modelo integrador llamado Teoría Unificada de la Aceptación del Uso de la Tecnología (UTAUT, *Unified Theory of Acceptance and Use of Technology*). El modelo UTAUT fue planteado con el objetivo de superar las limitaciones de los modelos anteriormente desarrollados, tomando como base las similitudes de las variables determinadas en los anteriores modelos.

Los modelos que sirvieron de base para formular la teoría fueron las siguientes:

- La Teoría de la Difusión de la Innovación (Rogers, 1962)
- La Teoría de la Acción Razonada (Fishbein & Ajzen, 1975)
- La Teoría del Comportamiento Planificado (Ajzen, 1985)
- El Modelo Motivacional (Deci & Ryan, 1985)
- La Teoría Social Cognitiva (Bandura, 1986)
- El Modelo de Aceptación de la Tecnológica (Davis, 1989)
- El Modelo de Utilización del PC (MPCU) (Thompson et al., 1991)

- El Modelo combinado TAM-TPB (Yayla, Ali Alper & Hu, 2007)

La teoría sostiene que hay cuatro constructos clave que juegan un papel importante como determinantes de adopción de tecnologías por parte de los usuarios, con sus respectivas relaciones con variables tales como el género, la edad, el uso obligatorio de los equipos y la experiencia previa de los usuarios. Los cuatro constructos que componen el modelo UTAUT son:

- **Expectativa de rendimiento (PE):** Grado de beneficio que un individuo cree que obtendrá empleando un sistema de información. El constructo PE se compone por otras variables utilizadas en modelos anteriormente descritos: Utilidad percibida proveniente del TAM, la motivación extrínseca del MM (Deci & Ryan, 1985), la forma de trabajo del MPCU, la ventaja relativa de la IDT y las expectativas de resultado del SCT.
- **Esfuerzo esperado (EE):** Grado de facilidad asociado al uso del sistema. Está formado por constructores definidos en otros modelos; la percepción de la facilidad de uso, la complejidad y la facilidad de uso.
- **Influencia social (SI):** Grado en el cual un individuo percibe que el uso de los sistemas de información es importante para las personas que lo rodean, influyendo sobre su decisión acerca del uso del sistema. Está basado en los constructos; norma subjetiva de la TRA y TPB, factores sociales provenientes del MPCU y el grado en que se percibe el uso de una innovación como favorecedor del estatus social de una persona extraído del modelo IDT.
- **Condiciones facilitadoras (FC):** Grado en el cual un individuo cree que la infraestructura técnica y organizacional es adecuada para el uso del sistema. Se define en base a tres constructos: percepción de control del comportamiento perteneciente al TPB, condiciones facilitadoras derivadas del MPCU y la compatibilidad de IDT.

A continuación se muestra la formulación del modelo UTAUT que recoge los constructos y la interrelación entre ellos en la Figura 10.

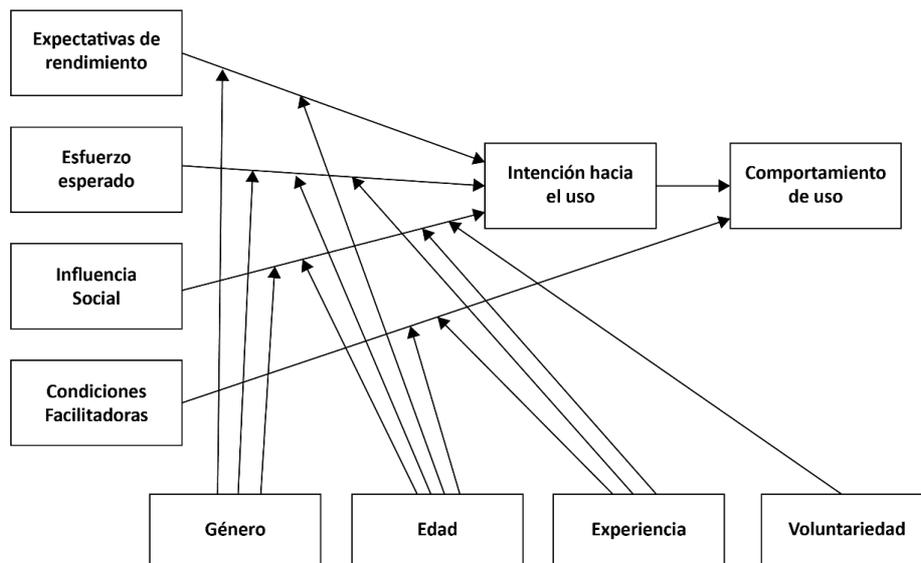


Figura 10: Teoría Unificada de la Aceptación del Uso de la Tecnología – UTAUT (Venkatesh et al., 2003)

2.2.9 MODELO COMBINADO DEL MODELO DE ACEPTACIÓN Y LA TEORÍA DEL COMPORTAMIENTO PLANIFICADO (TAM-TPB) - (Yayla, Ali Alper & Hu, 2007)

El modelo combinado TAM-TPB (Yayla & Hu, 2007) combina los modelos TAM (Davis, 1989) y TPB (Ajzen, 1985). Los autores plantearon el modelo basándose en los estudios de Madden et al. (1992) y Taylor y Todd (1995). El objetivo del modelo fue integrar en TAM los aspectos normativos o sociales y el control del comportamiento percibido. El TAM-TPB permite predecir mejor la intención de uso de un sistema aunque presenta peores valores en lo que a bondad de ajuste se refiere (Pavlou, Paul A and Fygenson, 2006).

El modelo postula que la facilidad de uso percibida afecta en la utilidad percibida que, a su vez, afectan en la actitud hacia el uso. Los autores argumentan que la utilidad percibida y la actitud hacia el uso condicionan la intención de conducta, que a su vez se ve influenciada por la norma subjetiva y el control percibido (Figura 11).

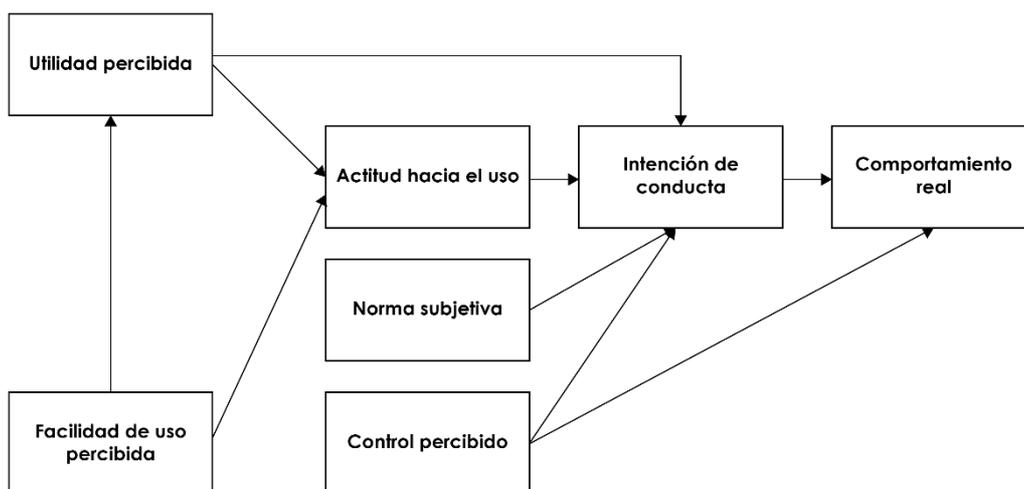


Figura 11: Modelo TAM-TPB (Yayla, Ali Alper & Hu, 2007)

2.2.10 MODELO DE ACEPTACIÓN TECNOLÓGICA 3(TAM3) - (Venkatesh & Bala, 2008)

Venkatesh y Bala (2008) actualizaron el Modelo de Aceptación Tecnológica de la versión dos (Venkatesh & Davis, 2000) a TAM 3, enfocándose en expandir la cantidad de determinantes que afectan a la facilidad de uso percibida de una innovación.

Los autores señalan que los determinantes de la utilidad percibida no influyen en la facilidad de uso percibida y los determinantes de la facilidad de uso percibida no influirán en la utilidad percibida (Venkatesh & Bala, 2008). Por lo tanto, en comparación a las versiones anteriores, el TAM3 no plantea ninguna relación cruzada.

Según los autores, existen dos tipos de factores que influyen en PEOU: las variables “anclas” y las de “ajuste”. Las primeras están conformadas por auto-eficacia frente a la tecnología, percepción de control externo, ansiedad frente a la tecnología y entretenimiento frente a la tecnología. Las últimas están conformadas por: disfrute percibido y usabilidad objetiva. TAM3 incluye nuevamente a la experiencia y voluntariedad como variables moderadoras tal y como ilustra la Figura 12.

Los factores que influyen en la utilidad percibida son la norma subjetiva, la imagen, la relevancia laboral, la calidad del resultado y la demostrabilidad de los resultados. La facilidad de uso percibida se ve influenciada por las variables de anclaje y variables de ajuste.

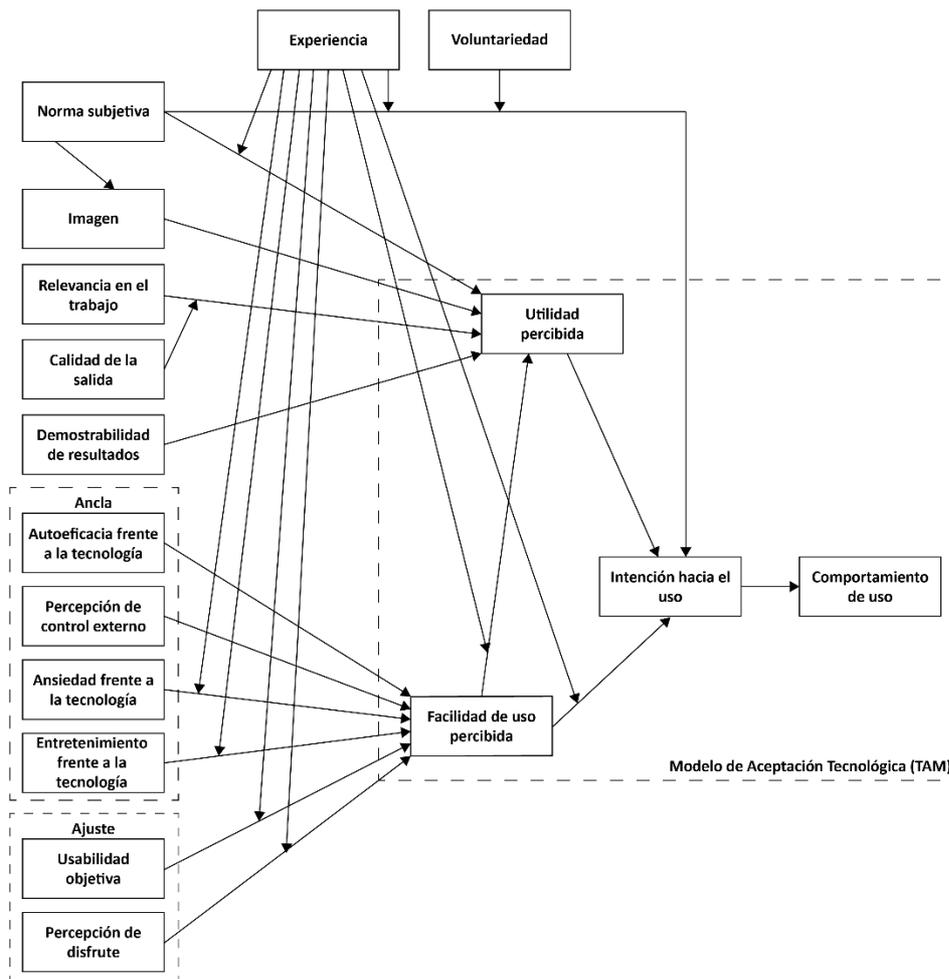


Figura 12: Modelo de Aceptación Tecnológica 3 - TAM3 (Venkatesh & Bala, 2008)

La teoría sostiene que las variables listadas a continuación son los determinantes de adopción de tecnologías:

- **Ansiedad frente a la Tecnología:** Grado de aprensión, o incluso miedo, al enfrentarse a la posibilidad de usar una herramienta tecnológica.
- **Gozo frente a la Tecnología:** Grado de espontaneidad cognitiva en la interacción con una tecnología.
- **Autoeficacia frente a la Tecnología:** Corresponde a la habilidad que un usuario cree poseer para desempeñar tareas específicas usando una tecnología.
- **Percepción de Disfrute:** Grado en el que la utilización de un sistema se percibe como agradable.

- **Usabilidad Objetiva:** Nivel real (en lugar de la percepción) de esfuerzo requerido para completar tareas específicas.
- **Percepción de Control Externo:** Grado en el que un individuo cree que existen los recursos organizacionales y técnicos para apoyar el uso del sistema.

La experiencia y la voluntariedad actúan como modificadores de la intención conductual. El modelo teoriza que la facilidad de uso percibida está estrechamente relacionada con las creencias de autoeficacia y el conocimiento o experiencia previa de los individuos (Davis, 1989; Venkatesh & Davis, 2000). El modelo muestra que, con una mayor experiencia, el usuario tendrá más información sobre el grado de dificultad del sistema a utilizar y disminuirá la ansiedad frente a la tecnología.

2.3 TEORÍAS DE AJUSTE

En este apartado, se recoge una revisión de la literatura sobre la Teoría de Ajuste Tarea-Tecnología y su relación con el factor de desempeño individual. Las teorías de ajuste se centran en analizar la capacidad de una tecnología para apoyar una tarea y defienden que dichas tecnologías serán adecuadas si se ajustan a las actividades del usuario, permitiendo a los usuarios completar las tareas encomendadas con mayor facilidad. Además, los modelos presentados teorizan sobre el impacto del ajuste en el desempeño individual. La revisión de la literatura recoge las siguientes teorías:

- Teoría de Ajuste Tarea-Tecnologías (TTF) - (Goodhue, 1995)
- Modelo de Cadena Tecnología-Desempeño (TPC) - (Goodhue & Thompson, 1995)
- Modelo combinado TTF/TPC (Goodhue & Thompson, 1995)
- Modelo combinado TAM/TTF (Dishaw & Strong, 1999)
- Modelo de Ajuste Tarea-Tecnología, evaluaciones de usuario y rendimiento (Goodhue, Klein, & March, 2000)

2.3.1 TEORÍA DE AJUSTE TAREA-TECNOLOGÍA (TTF) (Goodhue, 1995)

En comparación con la investigación relacionada con la aceptación de la tecnología, la Teoría de Ajuste Tarea-Tecnología (TTF, *Task-Technology-Fit*) tiene como objetivo determinar cómo las tecnologías ayudan a las personas durante la ejecución de sus tareas. Esto es, se centra en la capacidad de una tecnología de la información para apoyar una tarea (Goodhue, 1995). El modelo TTF se compone de los siguientes constructos; (i) Características de la tarea, (ii) Características de la tecnología, las cuales afectan conjuntamente al (iii) ajuste tarea-tecnología, que a su vez afecta la variable de resultado; (iv) utilización e (v) impacto en el rendimiento.

El modelo TTF postula que las tecnologías de información serán utilizadas si se ajustan a las actividades del usuario, ya que los usuarios elegirán aquellas herramientas y métodos que les permitan completar la tarea con el mayor beneficio. Un usuario puede sentirse frustrado en caso de que haya falta de precisión en los datos, vigencia y compatibilidad de la información, o cuando la información no se presenta de manera útil. La frustración con un sistema o tecnología, es decir, un menor nivel de ajuste entre la tecnología y las tareas, generaría una menor satisfacción y productividad de los empleados.

Estudios confirman que el ajuste tarea-tecnología y la utilización en su conjunto, impactan en el rendimiento individual (Fuller & Dennis, 2009; McGill & Klobas, 2009). Además, demuestran la relevancia del constructo TTF para evaluar el valor de un sistema de información (Goodhue & Thompson, 1995) y predecir el uso del sistema (Dishaw & Strong, 1998) y el rendimiento de los usuarios (Goodhue, Klein, & March, 2000b).

Con el fin de investigar la relación entre la tecnología de la información y el desempeño de los usuarios, Goodhue, (1995) basó su teoría TTF en la investigación de dos corrientes separadas. Por un lado, la investigación de la adopción y aceptación de los usuarios que investiga las creencias y actitudes de los usuarios para predecir la utilización de los sistemas de información (Davis, Fred D and Bagozzi, Richard P and Warshaw, 1992; Davis, 1989; Fishbein & Ajzen, 1975; Robey, 1979; Swanson, 1987). Por otro lado, el enfoque de ajuste evidente en la investigación que analiza el impacto de la representación de datos sobre el desempeño de las personas (Benbasat, Izak & Dexter, 1986; Cooper & Zmud, 1990; Jarvenpaa, 1989; Vessey, 1991).

Goodhue, (1995) argumenta que una mayor utilización de un sistema conduciría a un mayor rendimiento. De esta manera, el enfoque de ajuste puede pasar por alto que los sistemas deben ser utilizados antes de que puedan impactar en el desempeño. Para combinar las teorías de utilización y de ajuste de tareas, Goodhue & Thompson, (1995) sugirieron el Modelo de Cadena de Desempeño de Tareas (TPC).

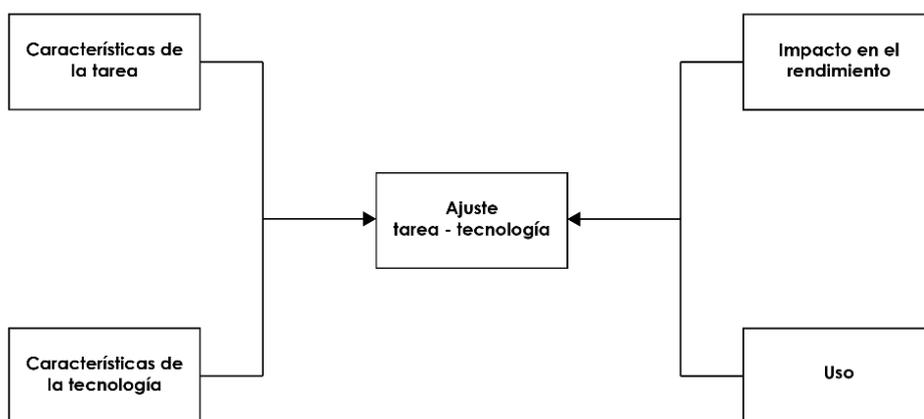


Figura 13: Teoría de Ajuste Tarea-Tecnología – TTF (Goodhue, 1995)

La Figura 13 muestra el modelo Modelo de Ajuste Tarea-Tecnología. El núcleo del modelo es el constructo de ajuste (TTF), que es la adaptación de las capacidades de la tecnología a las demandas de la tarea, es decir, la capacidad de la tecnología de

información para apoyar una tarea (Goodhue, 1995). El modelo TTF consta de cuatro constructos; (i) características de la tarea, (ii) características de la tecnología, que en conjunto afectan al tercer constructo; (iii) ajuste entre la tecnología y la tarea, que a su vez afecta la variable de resultado, ya sea en términos de (iv) desempeño o (v) utilización.

2.3.2 MODELO DE CADENA TECNOLOGÍA-DESEMPEÑO (TPC) (Goodhue & Thompson, 1995)

Goodhue & Thompson (1995) extendieron la teoría TTF con el Modelo de Cadena Tecnología- Desempeño (TPC, *Technology to Performance Chain*) que no sólo tenía como objetivo la evaluación del ajuste entre la tecnología y la tarea, sino que también tenía como objetivo la evaluación del rendimiento individual al utilizar una tecnología para completar la tarea.

El modelo teoriza cómo las tecnologías conducen a impactos en el desempeño a nivel individual. El modelo TPC postula que las tecnologías deben ser utilizadas y ajustarse a la tarea que apoyan para tener un impacto positivo en el rendimiento.

Por lo tanto, este modelo proporciona una imagen más precisa de la forma en que las tecnologías, las tareas y la utilización se relacionan con las variaciones en el rendimiento (Figura 14).

Goodhue & Thompson, (1995) describieron las principales características del TPC de la siguiente manera:

- **Tecnologías:** Las tecnologías son las herramientas utilizadas por los individuos durante la realización de sus tareas. En el contexto de la investigación sobre los sistemas de información, la tecnología se refiere a los sistemas informáticos (hardware, software y datos) y a los servicios de apoyo a los usuarios (formación, líneas de ayuda, etc.) prestados para ayudar a los usuarios en sus tareas.
- **Tareas:** Las tareas se definen en términos generales como las acciones llevadas a cabo por los individuos para convertir los insumos en productos. Las características de las tareas podrían mover a un usuario a depender más de ciertos aspectos de la tecnología de la información.
- **Individuos:** Los individuos pueden utilizar tecnologías como ayuda en el desempeño de sus tareas. Las características del individuo (capacidad,

experiencia previa con TICs, motivación) podrían afectar la facilidad y la eficacia con que utilizará la tecnología.

- **Ajuste tarea-tecnología:** El ajuste de la tecnología y tareas (TTF) es el grado en que una tecnología ayuda a un individuo a realizar sus de tareas. Más específicamente, el TTF es la correspondencia entre los requisitos de la tarea, las habilidades individuales y la funcionalidad de la tecnología.
- **Utilización:** La utilización es el comportamiento de emplear la tecnología para completar tareas.
- **Los antecedentes de la utilización:** Los antecedentes de la utilización pueden ser sugeridos por teorías sobre actitudes y comportamiento. Tanto la utilización voluntaria como la obligatoria se reflejan en el TTF. El uso obligatorio puede considerarse como una situación en la que las normas sociales son muy rígidas para utilizar un sistema y superan otras consideraciones tales como las creencias sobre las consecuencias y efectos esperados.
- **Desempeño:** El impacto en el desempeño se relaciona con el cumplimiento de una serie de tareas por parte de un individuo. Un mayor rendimiento implica una combinación de mejora de la eficiencia, mejora de la eficacia y/o mayor calidad. Un valor TTF alto aumenta la probabilidad de utilización, pero también aumenta el impacto en el desempeño del sistema sin importar por qué se utiliza. En cualquier nivel dado de utilización, un sistema con un TTF alto conducirá a un mejor desempeño, ya que satisface mejor las necesidades de la tarea a nivel individual.
- **El impacto del TTF en la utilización:** El impacto del TTF en la utilización se muestra a través de un vínculo entre el ajuste de la tecnología y tareas, y las creencias sobre las consecuencias de usar un sistema. Esto se debe a que el TTF debe ser un determinante importante de si se cree que los sistemas son más útiles, más importantes, o dan una ventaja más relativa.

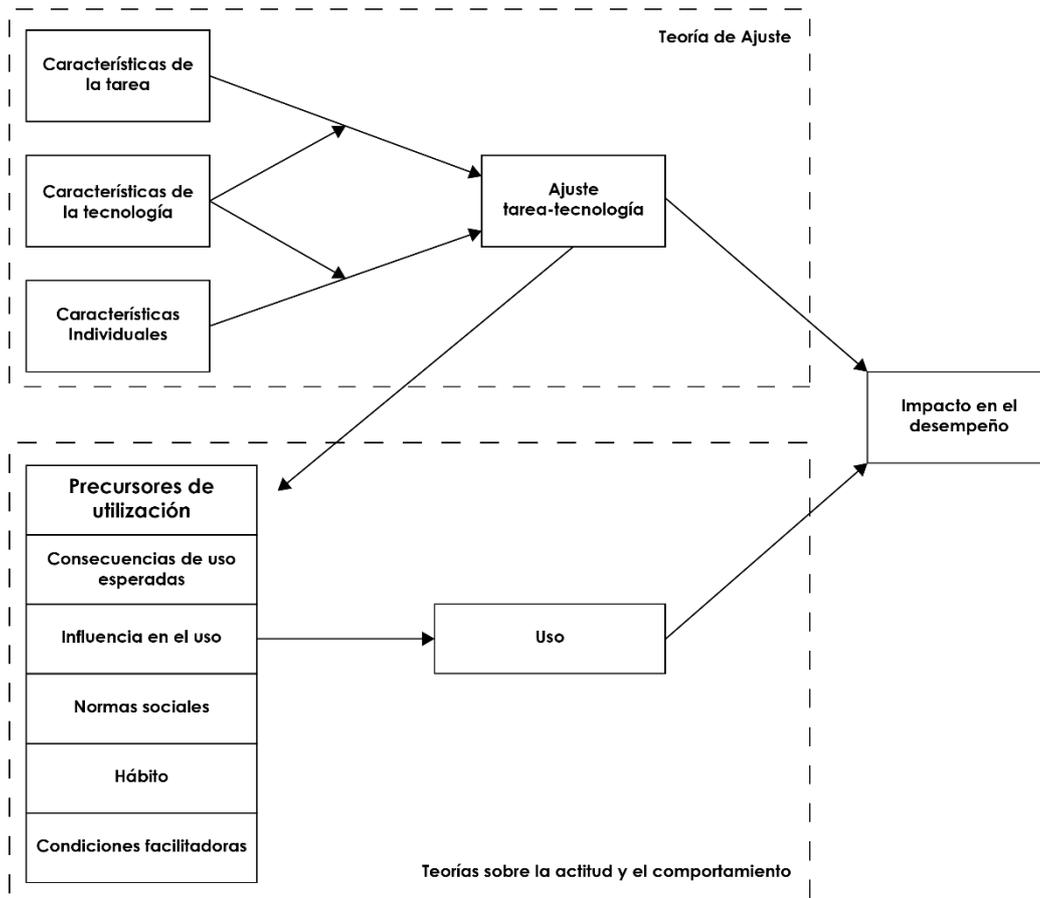


Figura 14: Modelo de Cadena Tecnología-Desempeño – TPC (Goodhue & Thompson, 1995)

2.3.3 MODELO COMBINADO TTF/TPC (Goodhue & Thompson, 1995)

El ajuste Tarea-Tecnología (TTF, *Task Technology Fit*) significa crear una coincidencia entre las características de la tarea y las características de la tecnología, con el fin de permitir a los usuarios realizar la tarea en un artefacto digital sin esfuerzo. Goodhue & Thompson, (1995) sugieren que la teoría TTF puede servir como herramienta de diagnóstico para evaluar si los sistemas y servicios de información de una organización determinada satisfacen las necesidades de los usuarios.

Se han utilizado ampliamente desde que se introdujo por primera vez en 1995, principalmente con métodos cuantitativos en forma de encuestas de opinión y tests de laboratorio para investigar cuánto de encaje tiene el Sistema de Información (SI) junto a la tarea requerida, Gebauer & Ginsburg (2006) sugieren que para aumentar el rendimiento de los usuarios, la comprensión de la relación entre SIs y usuarios individuales es una necesidad. Garrett (2010) sostiene que la Experiencia de Usuario

es algo en lo que se debe centrar, entendiendo lo que los usuarios necesitan, lo que valoran y conociendo sus habilidades.

La comprensión del vínculo entre los SIs y el rendimiento individual puede conducir a un aumento del rendimiento a nivel individual, así como a un impacto positivo en los resultados del rendimiento de la empresa. Goodhue & Thompson (1995) sugieren que es más probable que la tecnología de la información tenga un impacto positivo en el desempeño del individuo cuando las capacidades de la tecnología complementan las tareas que el usuario debe realizar.

Si no se da la coincidencia entre las tareas y las características técnicas, esto es, si no existe ajuste, puede dar lugar a que el usuario tarde mucho más tiempo para realizar la tarea. Goodhue & Thompson (1995) describen el modelo en base a cinco componentes diferentes: funciones, tareas, correspondencia, impacto en el rendimiento e impacto en el uso.

- **Funciones:** Las funciones existentes en un sistema para realizar las tareas que el usuario necesita llevar a cabo.
- **Tareas:** Las tareas que el usuario necesita o quiere realizar con la ayuda de un sistema o tecnología.
- **Ajuste:** A qué nivel las funciones ayudan al usuario a realizar las tareas. Esto se aplica a cuáles son las exigencias de la tarea, cómo funcionan las funciones y cómo se ven las necesidades individuales.
- **Impacto en el rendimiento:** Cómo afecta el encaje al rendimiento del usuario.
- **Impacto del uso:** Cómo afecta el encaje al uso del sistema.

Goodhue & Thompson (1995) mencionan dos corrientes de investigación diferentes en su trabajo. La primera y más común de las dos es el modelo de “enfoque de uso” propuesto por DeLone & McLean (1992). Este modelo (Figura 15) se centra en analizar las actitudes y creencias de los usuarios para predecir la utilización de los sistemas. La implicación es que el aumento de la utilización del sistema conducirá a impactos positivos en el rendimiento (Goodhue & Thompson, 1995).

La segunda corriente de investigación mencionada es el “enfoque de ajuste” propuesto. Se detalla que cuando una tecnología proporciona características y soporte que se ajustan a los requisitos de una actividad, se producirá un impacto positivo en el rendimiento del usuario (Figura 15). Si se comparan las dos líneas de investigación, el modelo de ajuste Tarea-Tecnología determina la importancia del ajuste, pero la

variable de utilización no tiene un impacto tan grande como el que tiene en la corriente de investigación con foco en la utilización.

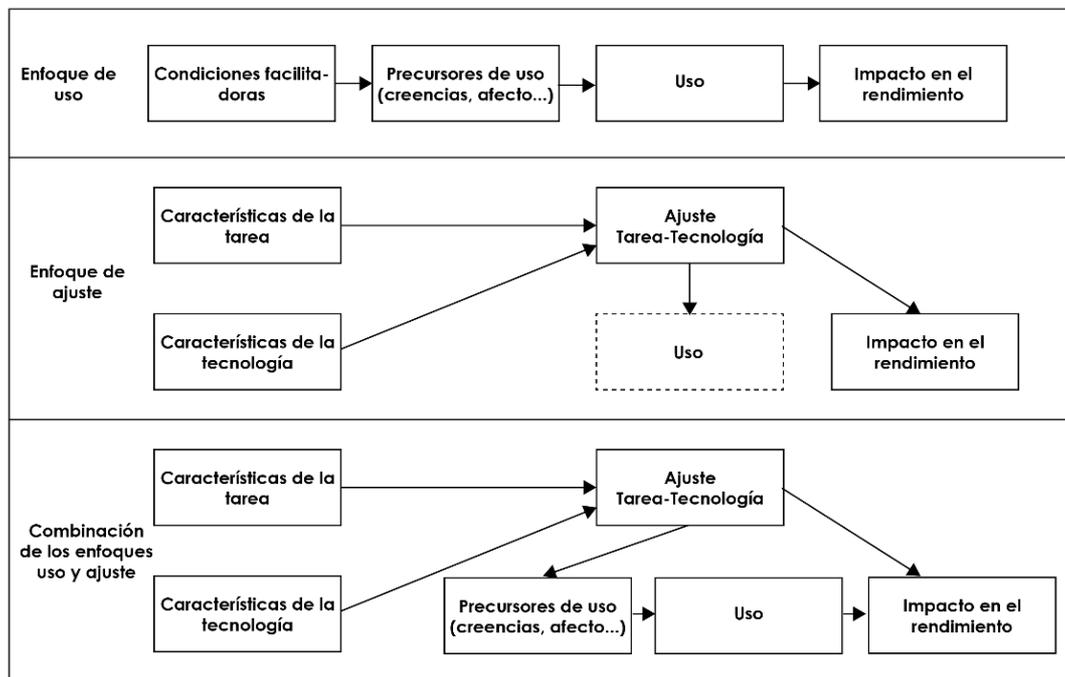


Figura 15: Modelo combinado TTF/TPC (Goodhue & Thompson, 1995)

Cada una de estas investigaciones tiene sus limitaciones. El modelo de enfoque de la utilización ignora el hecho de que la utilización no siempre es voluntaria. Si la utilización no es voluntaria, los impactos en el desempeño dependerán más del TTF en lugar de la utilización. La utilización de un sistema deficiente que tiene un valor de TTF bajo no mejorará el rendimiento (Goodhue & Thompson, 1995).

En el modelo de ajuste, la limitación es que la utilización es un resultado complejo basado en muchos otros factores además del ajuste, tales como el hábito o el comportamiento.

Debido a ello se creó el modelo de Cadena de desempeño de tareas (TPC, *Technology to Performance Chain*) supliendo las limitaciones del modelo de utilización y ajuste. En la Figura 15 se muestra una combinación del modelo de uso y de ajuste (Goodhue & Thompson, 1995).

El modelo Cadena Tecnología Rendimiento (TPC) captura los conocimientos de ambas corrientes de investigación, ofreciendo una imagen más precisa al afirmar que las tecnologías deben ser utilizadas y ajustarse a la tarea que apoyan para que tengan

un impacto en el desempeño. El modelo TPC (Figura 15) muestra cómo las tecnologías pueden conducir al rendimiento a nivel individual. La diferencia entre el modelo TPC y el modelo TTF es que el modelo TPC también muestra la relación separada entre uso y rendimiento.

Lending & Straub (1997) utilizaron el modelo de TPC para realizar un estudio cualitativo en el que el objetivo de la investigación era comprender mejor los impactos de un nuevo sistema de información sobre los comportamientos de trabajo del usuario.

Se realizaron entrevistas en dos direcciones, las primeras para mapear el uso y los segundos para ver cómo las funciones se ajustan a las tareas que los usuarios necesitaban realizar.

2.3.4 MODELO COMBINADO TAM/TTF (Dishaw & Strong, 1999)

Se han propuesto varias fusiones de la teoría TTF. Dishaw & Strong (1999) combinaron el modelo TAM con el TTF y probaron el nuevo modelo en un contexto organizacional. Argumentaron que TAM (Davis, 1989) y la Teoría de Ajuste Tarea Tecnología (TTF) (Goodhue & Thompson, 1995) eran las teorías más influyentes para explicar la utilización de la tecnología de la información dentro de la disciplina de investigación de sistemas de información.

El argumento general para combinar los modelos es que recogen aspectos relacionados con la actitud/comportamiento de los usuarios (en el modelo TAM), y el enfoque racional del modelo TTF al suponer que los usuarios deciden usar las TIs que proporcionan beneficios, como mejoras el desempeño laboral, independientemente de su actitud hacia la tecnología (Goodhue & Thompson, 1995).

Los autores señalan que la combinación de ambas teorías ayudará a comprender mejor el por qué los individuos utilizan la tecnología de la información para tareas particulares (Dishaw & Strong, 1999). La siguiente Figura 16 ilustra el modelo integrado sugerido por (Dishaw & Strong, 1999).

En el modelo combinado, los constructos de TTF sirven como antecedentes de los constructos del modelo TAM; utilidad percibida y percepción de la facilidad de uso, y también en la utilización del sistema digital. El modelo combinado ayuda a comprender los antecedentes de TAM, lo que a su vez proporciona información sobre qué softwares se perciben como útiles y fáciles de usar. Las características de la tarea y la tecnología afectan directamente a la utilización. Esta es una contribución importante de TTF al modelo combinado, ya que TAM se enfoca en la tecnología y no en la

capacidad de la misma para ayudar a los usuarios a realizar sus tareas, que es el foco central del modelo TTF.

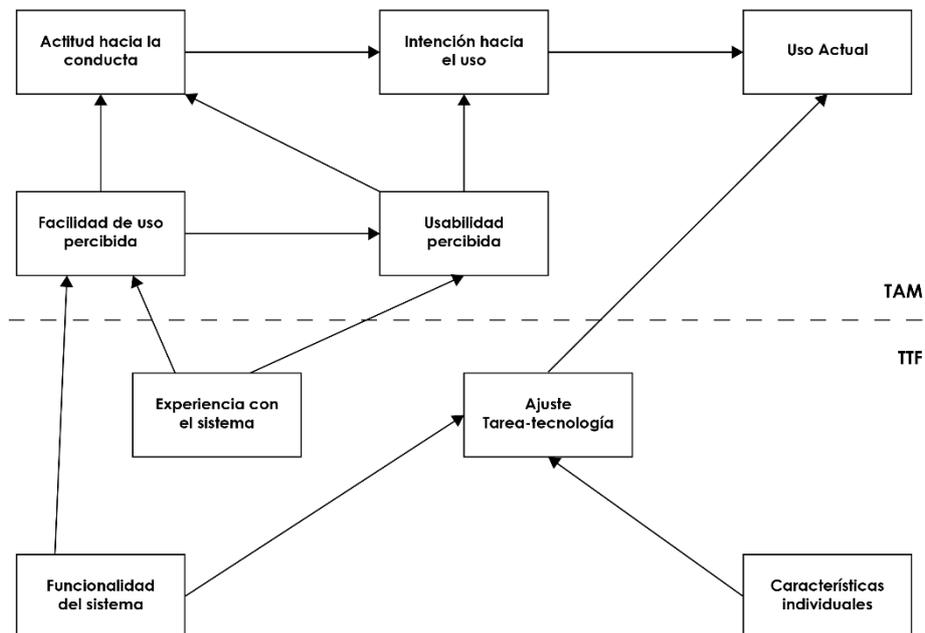


Figura 16: Modelo combinado TAM/TTF (Dishaw & Strong, 1999)

El resultado de combinar los dos modelos proporciona un modelo más orientado a entender la utilización de las TI, analizando conjuntamente la actitud y el ajuste proporcionado. Antes de evaluar el modelo combinado, los autores probaron cada modelo por separado utilizando los datos recopilados para esta investigación. Los análisis mostraron que el modelo ampliado proporcionaba un mejor ajuste que TAM o TTF por separado.

2.3.5 MODELO DE AJUSTE TAREA-TECNOLOGÍA, EVALUACIONES DE USUARIOS Y RENDIMIENTO (Goodhue et al., 2000)

Goodhue et al., (2000) analizan las evaluaciones de los usuarios de los sistemas de información como sustitutos del desempeño objetivo. Las evaluaciones de los usuarios se utilizaron como medidas del éxito de los sistemas de información. Por lo tanto, los autores desarrollaron el modelo de investigación que se muestra en la Figura 17.

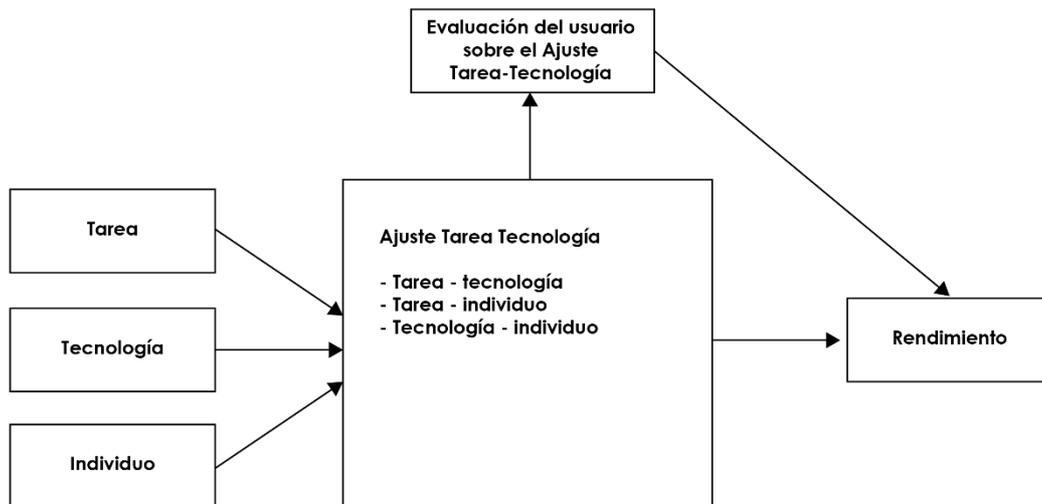


Figura 17: Modelo de Ajuste Tarea-Tecnología, evaluaciones de usuario y rendimiento (Goodhue et al., 2000)

2.4 LA CARGA MENTAL/COGNITIVA DE TRABAJO

A día de hoy se pueden encontrar muchos ejemplos de diseños inapropiados de equipos, lugares de trabajo, sistemas, puestos de trabajo y organizaciones en grandes y pequeñas empresas. El denominador común en muchos casos es que las capacidades, necesidades y limitaciones de las personas que interactúan con estos sistemas o equipos no han sido comprendidas ni tenidas en cuenta en el contexto de las exigencias del trabajo. Debido a ello, los sistemas se vuelven excesivamente complejos o tienen más funcionalidades de las que realmente se necesitan. En estos casos, la capacitación y el apoyo a los usuarios no son suficientes para el aprendizaje de los sistemas, las interfaces obstaculizan a los usuarios en lugar de ayudarlos. Por las citadas razones, es necesario tener en consideración las personas, la ergonomía y el factor humano (E/HF).

Las consecuencias de no aplicar cuestiones de E/HF, pueden conducir a un mayor riesgo de insatisfacción en el lugar de trabajo. Para la compañía por su parte, las consecuencias pueden ser tales como; pérdida de competitividad en términos de productividad, calidad, flexibilidad y puntualidad, así como una pérdida de confianza en la empresa.

La Asociación Internacional de Ergonomía, define la ergonomía de la siguiente forma; “la ergonomía produce e integra conocimientos de las ciencias humanas para ajustar los trabajos, sistemas, productos y entornos a las capacidades y limitaciones físicas y mentales de las personas” (IEA Council, 2000).

De manera similar, en la Asociación Internacional de Ergonomía (2014) se definió que: La ergonomía (o factores humanos) es la disciplina científica que se ocupa de la comprensión de las interacciones entre los seres humanos y otros elementos de un sistema, y la profesión que aplica principios teóricos, datos y métodos de diseño para optimizar el bienestar humano y el rendimiento general del sistema.

En esta línea, Wilson & Sharples (2015) divide los factores ergonómicos se en tres grupos:

- Ergonomía física: ajuste, distancia, alcance, acceso, tolerancia, carga de trabajo, manejo manual, salud y seguridad, disposición del lugar de trabajo, pantallas y controles, diseño del producto y del equipo, entorno, herramientas
- Ergonomía cognitiva: procesamiento de la información, detección, percepción, toma de decisiones, resolución de problemas, reacción, carga de trabajo

mental, fatiga, estrés, diseño de la interfaz, fiabilidad, comunicación, diagnóstico de fallos

- Ergonomía de los sistemas: adoptar un enfoque holístico para el diseño y la evaluación que integra lo físico, lo cognitivo y lo organizativo/social

En esta línea, el concepto de carga mental de trabajo está adquiriendo cada vez una mayor importancia debido a la integración de avances tecnológicos en las compañías, los cuales suponen mayor exigencia mental o intelectual a los trabajadores.

Durante la realización de cualquier actividad, la persona que está realizando una tarea debe poner en funcionamiento procesos físicos y mentales. Estos mecanismos son los que determinan la carga de trabajo, el cual se define como el conjunto de requerimientos mentales, cognitivos e intelectuales requeridos para tomar decisiones y realizar una tarea en la jornada laboral (Miller, 2001). Es decir, el nivel de actividad mental o de esfuerzo intelectual necesario para desarrollar el trabajo.

La carga de trabajo, tanto física como mental, es un factor presente en las actividades laborales y se determina por la interacción que se establece entre: (i) las exigencias del trabajo (que incluyen las exigencias de la tarea y las condiciones en que se realiza y (ii) las características del individuo que realiza la tarea. Estas características son las que determinan el grado de esfuerzo que debe realizar para llevar a cabo la tarea.

El nivel de carga de trabajo que un ser humano podría experimentar durante la ejecución de una tarea está influenciado por factores como la capacidad del operador y las metas de rendimiento requeridas, además de las demandas objetivas impuestas por la tarea. La evaluación de la carga mental es un punto clave en la investigación y desarrollo de interfaces humano-máquina, en busca de mayores niveles de confort, satisfacción, eficiencia y seguridad en el trabajo (Rubio, Díaz, Martín, & Puente, 2004).

Una tarea no debe provocar una sobrecarga en un individuo. Es por ello que el análisis de la carga de trabajo es importante para evaluar la carga de trabajo durante la realización de la tarea. Cuando las exigencias del trabajo no se adecuan a las capacidades del trabajador, creando una dificultad para realizar la tarea encomendada, la carga de trabajo es inadecuada.

Las exigencias del trabajo están determinadas por las exigencias de la tarea a realizar, es decir, por el contenido de la tarea, que a su vez depende de la información que debe tratarse en el puesto de trabajo, es decir, de la información que debe dar respuesta el individuo (García & del Hoyo Delgado, 2002). Además, las exigencias del

trabajo están influenciadas por las condiciones en las que se realiza la tarea, es decir, por factores del entorno de trabajo, tales como los factores del ambiente físico, factores psicosociales y de organización del trabajo, y los factores relacionados con el diseño del puesto. Por otro lado, la capacidad de respuesta del trabajador va a depender de determinadas características individuales y de otros factores extra laborales que le pueden estar afectando en un momento dado (García & del Hoyo Delgado, 2002). La Figura 18 recoge los factores determinantes de la carga de trabajo.

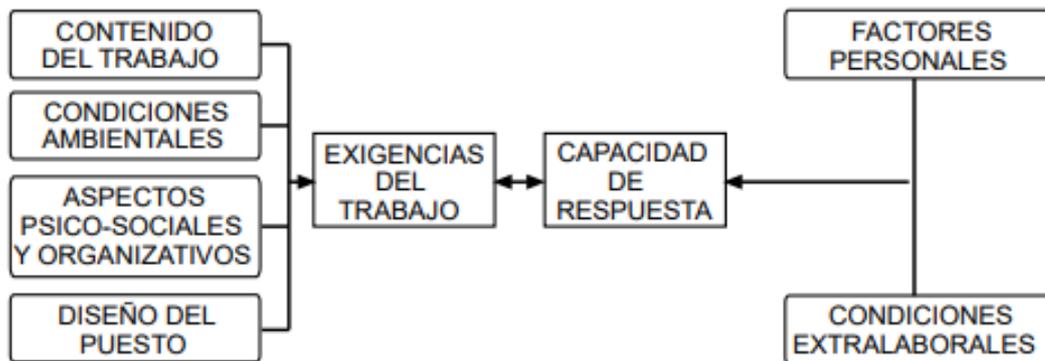


Figura 18: Factores de la carga de trabajo (García & del Hoyo Delgado, 2002)

2.4.1 TIPOS DE CARGA MENTAL/COGNITIVA

Se distinguen tres tipos de carga cognitiva (i) intrínseca, (ii) extrínseca y (iii) relevante (Paas, Tuovinen, Tabbers, & Van Gerven, 2003).

- Carga cognitiva intrínseca: Se refiere a la carga inherente a la complejidad de la tarea y al nivel de experiencia del usuario. En este sentido, el aprendizaje previo se debe tener en cuenta debido a que los empaquetamientos formados en la memoria de largo plazo influyen directamente en la capacidad de la memoria de trabajo del individuo. Una tarea específica puede ser compleja para un novato; no obstante, será sencilla para el experto (Chong, 2005)
- Carga cognitiva extrínseca: Se relaciona con la carga innecesaria que afecta la memoria de trabajo. Cuando el individuo está interactuando con una tecnología o interfaz cuyo diseño o ejecución están dotados de elementos irrelevantes, aumenta la carga extrínseca, la cual entorpece los procesos tanto de construcción como de automatización de esquemas (Loter, 2012).
- Carga cognitiva relevante: La carga relevante es la responsable de contribuir al aprendizaje. Se constituye a partir de procesos cognitivos adecuados, como las

abstracciones y las elaboraciones. Este tipo de carga está relacionada con el diseño de la interfaz, puesto que la manera como se presente la información y el tipo de actividades que se sugieran, puede favorecer el aprendizaje del individuo.

2.4.2 ANÁLISIS DE LA CARGA DE TRABAJO

El análisis de la carga de trabajo permite evaluar la experiencia de los operadores humanos en términos de carga cognitiva durante la ejecución de las tareas. Este análisis ayuda a la regulación de la carga mental, garantizando la seguridad, la salud, la comodidad y la eficiencia productiva a largo plazo de los operadores (Rubio et al., 2004). Un objetivo del análisis de la carga de trabajo sería regular las demandas de las tareas para que no sean una carga insuficiente o una sobrecarga individual.

El análisis de la carga de trabajo se utiliza a menudo en la fase de diseño posterior de la evaluación. Los operadores humanos suelen ser evaluados durante su interacción con los sistemas objetivo en un entorno real o simulado. Sin embargo, el análisis de la carga de trabajo también se puede implementar en las primeras etapas del ciclo de diseño, como el análisis de tareas. De este modo, los diseñadores o evaluadores de factores humanos pueden predecir puntos de sobrecarga para encontrar puntos de error potenciales.

Existen diversos criterios para considerar la selección de metodologías adecuadas de evaluación de la carga de trabajo para su tarea/sistema/procedimiento/objetivo (Tabla 6) (Eggemeier, Wilson, Kramer y Damos, 1991):

Tabla 6: Criterios para la evaluación de la carga de trabajo

Criterio	Descripción
Sensibilidad	El poder de una herramienta para detectar cambios en la dificultad o demanda de una tarea.
Diagnóstico	Esto implica no sólo la identificación de los cambios en la variación de la carga de trabajo, sino también la razón de dichos cambios.
Selectividad/Validez	El índice debe ser sensible sólo a las diferencias en las demandas cognitivas, no a los cambios en otras variables como la carga

	física o el estrés emocional, no necesariamente asociados a la carga mental.
Intrusión	La medida no debe interferir con el desempeño de la tarea principal, la carga que es el objeto real de la evaluación.
Fiabilidad	La medida debe reflejar consistentemente la carga mental.
Requisitos de implementación	Incluyendo aspectos como tiempo, instrumentos y software para la recolección y análisis de datos.
Aceptabilidad del tema	Esto se refiere a la percepción que tiene el sujeto de la validez y utilidad del procedimiento.

Además de las consideraciones primarias, hay otras cosas que los investigadores de factores humanos podrían necesitar considerar para seleccionar las medidas de análisis de la carga de trabajo (Tabla 7) (Wierwille & Eggemeier, 1993).

Tabla 7: Consideraciones de las medidas de análisis de la carga de trabajo

Medidas de análisis	Descripción
Tiempo	Corto plazo (varios segundos) vs. largo plazo (horas). Es importante identificar si desea una evaluación momentánea de la carga de trabajo o una evaluación general de la carga de trabajo.
Medidas múltiples	Algunas medidas pueden ser sensibles a diferentes partes de una tarea; por lo tanto, emplear más de una medida puede ser más útil para fines de diagnóstico. Sin embargo, las medidas múltiples también pueden interferir entre sí
Carga de trabajo relativa frente a carga de trabajo absoluta	Todavía no existe un rango estándar "absoluto" de carga de trabajo alta o baja; sin

	embargo, puede ser útil comparar la tarea en cuestión con una tarea "de referencia" de baja carga de trabajo.
--	---

2.4.3 MEDICIÓN DE LA CARGA MENTAL/COGNITIVA DE TRABAJO

La carga cognitiva se define como “la carga que el desempeño de una tarea particular impone sobre el sistema cognitivo del aprendiz” (Paas et al., 2003). Existen tres categorías de mediciones de la carga de trabajo mental: medidas psicológicas, técnicas basadas en el comportamiento y medidas fisiológicas.

La carga mental de un determinado puesto de trabajo depende tanto de las demandas de la tarea, como de determinadas características del individuo que realiza esa tarea. Para poder realizar una valoración lo más precisa posible de la carga mental, es necesario recoger, además de datos relacionados con las exigencias de la tarea, datos relacionados con el trabajador. Para ello, se utilizan como indicadores de carga mental distintas medidas de las alteraciones psicológicas, fisiológicas y del comportamiento resultantes de la fatiga.

2.4.3.1 Evaluación de alteraciones psicológicas

La fatiga mental puede producir también alteraciones psicológicas en el individuo. Estas alteraciones pueden evaluarse utilizando dos tipos de métodos: subjetivos y objetivos.

- **Métodos subjetivos / empíricos:** los métodos empíricos miden el esfuerzo mental de los participantes por medio de instrumentos subjetivos. Para ello, se utilizan encuestas basadas en escalas Likert, las cuales registran el reporte introspectivo de esfuerzo mental que requieren los participantes al resolver una tarea (RoloGonzález, Díaz-Cabrera & Hernández-Fernaud, 2009; Rubio, Díaz, Martín & Puente, 2004). Por otra parte, también se utilizan técnicas psicofisiológicas que intentan medir el nivel de actividad cerebral durante el desempeño (Paas, Tuovinen, Tabbers & van Gerven, 2003). Estos métodos pretenden recoger la impresión subjetiva de fatiga del trabajador, cómo el individuo siente la fatiga generada por una carga mental inadecuada, utilizando para ello técnicas como cuestionarios, escalas, entrevistas, etc. Mediante instrumentos elaborados para este fin se realiza una valoración de la carga mental, basándose en las respuestas subjetivas de los trabajadores a una serie de preguntas que guardan relación con unas determinadas condiciones de

trabajo, particularmente influyentes en la carga mental, y que ponen de manifiesto determinados estados del trabajador que se supone son resultado de una carga mental inadecuada.

Las medidas subjetivas de la carga de trabajo son herramientas de uso común en muchos campos, pero se utilizan habitualmente para analizar las tareas desde el punto de vista del usuario y extraer un diagnóstico de la ejecución de dicha tarea. Las medidas subjetivas son fáciles de aplicar y los usuarios suelen aceptar y entender el uso de estos métodos.

Existen muchas escalas subjetivas de carga de trabajo, como el MCH (*Modified Cooper Harper*) (G. E. Cooper & Harper Jr, 1969), SWAT (*Subjective Workload Assessment Technique*), NASA-TLX (*NASA Task Load Index*), *Overall Workload Scale* (Vidulich & Tsang, 1987), *Bedford Scale* (Rehmann, 1995), VOSO (*Verbal Online Subjective Opinion*) (Wierwille & Eggemeier, 1993), WP (*Workload Profile*) (Tsang & Velazquez, 1996) y SOCC (*Subjective Opinion via Continuous Control*) (Wierwille & Eggemeier, 1993).

Uno de los métodos más utilizado y común es el índice de carga de trabajo de la NASA (NASA-TLX) (Hart & Staveland, 1988). Es una herramienta de evaluación subjetiva de cargas de trabajo para evaluar las cargas de los operadores que trabajan con sistemas de interfaz humano-máquina. Incorpora un procedimiento de calificación de seis dimensiones para obtener una escala de carga de trabajo (demanda mental, demanda física, demanda temporal, rendimiento, esfuerzo y nivel de frustración) (Tabla 8). A partir de la citada escala, se calcula un índice global de carga mental de trabajo.

Tabla 8: NASA-TLX (Hart & Staveland, 1988)

Título	Valoración	Descripción
Demanda mental	Baja / alta	¿Cuánta actividad mental y perceptiva se ha requerido (por ejemplo, pensar, decidir, calcular, recordar, mirar, buscar, etc.)? ¿Ha sido la tarea fácil o exigente, simple o compleja, exigente o tolerable?
Demanda física	Baja / alta	¿Cuánta actividad física se ha requerido (por ejemplo, empujar, tirar, girar, controlar, activar, etc.) era la tarea fácil o exigente, lenta o rápida, relajada o esforzada, tranquila o laboriosa?
Demanda	Baja / alta	¿Cuánta presión de tiempo has sentido debido a la velocidad o el

temporal		ritmo con que se han realizado las tareas? ¿El ritmo era lento o rápido?
Desempeño	Buena / mala	¿Cuánto de exitoso crees que ha sido el cumplimiento del objetivo de la tarea establecida? ¿Cuánto de satisfecho te sientes con tu desempeño en el logro de estos objetivos?
Esfuerzo	Baja / alta	¿Cuánto tuviste que trabajar (mental y físicamente) para lograr tu nivel o rendimiento?
Nivel de frustración	Baja / alta	¿Cuánto de inseguro, desanimado, irritado, estresado y molesto te has sentido frente a seguro, gratificado, contento, relajado y complaciente durante la tarea?

- **Métodos objetivos / analíticos:** Los métodos analíticos son estimaciones de la cantidad de carga mental que una persona requerirá para resolver un problema determinado. Estas estimaciones se basan en juicios de expertos en el dominio de la tarea y en modelos matemáticos de análisis. La carga mental se puede evaluar también a través de una serie de pruebas objetivas. Cuando estamos fatigados, se producen alteraciones en distintas funciones cognitivas y psicomotoras. Cada una de estas funciones puede medirse de forma objetiva a través de pruebas o tests psicológicos, a partir de los cuales se puede valorar el grado de carga mental del individuo. En este sentido, pueden utilizarse pruebas que permiten comprobar cómo la fatiga está afectando a las funciones psicomotoras (a través, por ejemplo, de pruebas de tiempo de reacción o de coordinación de movimientos), y pruebas para valorar las alteraciones cognitivas (fundamentalmente, pruebas de atención, de memoria y de concentración).

2.4.3.2 Evaluación del comportamiento

La fatiga mental también afecta al comportamiento de las personas en el ámbito laboral, en los cambios de comportamiento y en el rendimiento de los trabajadores. Se recogen mediante las siguientes técnicas (García & del Hoyo Delgado, 2002):

- **Indicadores de rendimiento:** La utilización de medidas de rendimiento como índices de carga mental se basa en el supuesto de que el aumento en la dificultad de una tarea producirá un incremento de sus demandas, que se traducirá en una disminución del rendimiento. Se trata de analizar las respuestas de un trabajador en el curso de su trabajo, utilizando como criterio

el rendimiento en la tarea. Así, en función del tipo de tarea que se quiera analizar, se pueden utilizar distintos índices, como la frecuencia de respuesta correcta, la tasa de error y/o el tiempo de reacción. Por ejemplo, cuando se trata de evaluar la carga mental de una tarea en la que la rapidez es fundamental, una medida de rendimiento adecuada es el tiempo de reacción. Si se trata de una tarea en la que cualquier error puede tener consecuencias graves, es más adecuado utilizar la frecuencia de respuesta correcta o la tasa de error.

Las medidas basadas en el rendimiento se pueden categorizar en mediciones de tareas primarias y mediciones de tareas secundarias. Las mediciones de tareas primarias evalúan el rendimiento del usuario (por ejemplo, la velocidad o la precisión) en las funciones principales del sistema como índices de la carga de trabajo del operador. Se espera que el rendimiento del usuario (velocidad y/o precisión) disminuya a medida que aumenta la carga de trabajo.

Las mediciones de tareas secundarias analizan las tareas secundarias que no forman parte de las funciones habituales del sistema. Tales tareas involucran memoria, matemáticas mentales, producción de intervalos, tiempo de reacción, estimación de tiempo y seguimiento.

- **Estudio de los métodos operacionales:** Los métodos operacionales son métodos o estrategias que el individuo utiliza para realizar una determinada tarea. En las situaciones de trabajo poco habituales, el trabajador responde a la carga de trabajo mediante una adaptación de su comportamiento tomando estrategias diferentes, y adoptando formas operativas que sean más compatibles con su propia capacidad de trabajo. Cuando aumenta el esfuerzo requerido para realizar la tarea, aumenta la fatiga del trabajador. Entonces, el trabajador tiende a modificar su comportamiento, olvidando, por ejemplo, los problemas secundarios, y centrándose únicamente en la tarea principal, lo que en determinadas circunstancias podría desembocar en un accidente, o en cualquier disfunción del sistema. Por ello, el análisis de las variaciones de los métodos operacionales puede utilizarse como indicador para la evaluación de la carga mental, interpretando estos cambios como una consecuencia de la fatiga mental.
- **Método de la doble tarea:** En este método se pide a los participantes que realicen simultáneamente dos tareas. Se asocia a la tarea principal, efectuada con prioridad, una segunda tarea más simple (tarea secundaria). Es decir,

consiste en dar un segundo trabajo (tarea secundaria) hasta saturar la capacidad del trabajador, evaluando el deterioro de la prueba. Este método teoriza que los recursos de procesamiento de información del trabajador son limitados, y su rendimiento puede verse deteriorado cuando varias actividades compiten por los mismos recursos. Cuanto mayor es la dificultad de la tarea principal, el desempeño en la tarea secundaria es menor. Por tanto, se trata de medir indirectamente cuál es la fracción de capacidad mental que no es utilizada por la tarea principal.

Los métodos de la Carga Mental son complementarios entre sí, y la mejor forma de utilizarlos es correlacionando la existencia de unas determinadas condiciones de trabajo con las repercusiones sobre el individuo, de tal manera que pueda establecerse una relación causa – efecto que permita determinar qué factores concretos deben modificarse, a fin de mejorar una situación de trabajo.

2.4.3.3 Técnicas fisiológicas

Una situación de carga mental inadecuada, produce fatiga mental en el trabajador, produciendo una serie de reacciones fisiológicas. Una forma de evaluar los efectos que la fatiga está teniendo sobre el trabajador, es estudiar las variaciones en una serie de indicadores fisiológicos, analizando las reacciones del organismo.

Existen varias técnicas e indicadores fisiológicos como; la frecuencia cardíaca, la actividad cerebral mediante Electroencefalogramas (EEG), el registro de estímulos mediante EEGs o el registro de la actividad ocular.

2.4.4 IMPLICACIONES PARA EL DISEÑO DE LA INTERFAZ

La teoría de la Carga Cognitiva defiende que la memoria de trabajo es limitada, y un exceso de carga cognitiva es perjudicial para el aprendizaje. Como la memoria de trabajo es limitada, un exceso de carga cognitiva es perjudicial para el aprendizaje. Por dicho motivo, los diseños de las interfaces digitales deben ayudar a reducir la carga cognitiva. Para ello, es necesario disminuir la carga cognitiva extrínseca para aumentar el espacio de la carga relevante en la memoria de trabajo (Chong, 2005; Shaffer, Doube, & Tuovinen, 2003).

2.5 INTERACCIÓN DIRIGIDA POR OBJETIVOS

Este apartado recoge las teorías relacionadas con el análisis de tareas. El análisis de tareas es un método para dividir un trabajo en elementos más pequeños y examinar las relaciones entre los mismos (Gillan, 2012). Por ejemplo, una tarea puede descomponerse en los pasos secuenciales que los trabajadores realizan para completar la tarea, los procesos cognitivos en los que se involucran, las herramientas que emplean, y/o las fuerzas situacionales o contextuales bajo las cuales se realiza el trabajo. El resultado puede ser utilizado para realizar una comparación sistemática entre las capacidades de un sistema de trabajo y las exigencias del trabajo o para realizar una comparación entre expertos y novatos. Esto permite a los diseñadores y analistas comprender mejor dónde el diseño de un nuevo sistema o el rediseño de un sistema existente puede mejorar el rendimiento de las tareas (Drury, 1983).

Es por tanto una metodología que está soportada por un conjunto de técnicas para ayudar en el proceso analítico de recogida de información, organizarlo y usarlo para realizar valoraciones o decisiones de diseño.

A continuación, se recoge la revisión de literatura sobre la interacción dirigida por objetivos. Se describen los siguientes modelos y métodos:

- Modelo de Procesador Humano (Card, Moran, & Newell, 1980)
- Modelo de nivel de pulsación (KLM) - (Card et al., 1980)
- Método GOMS (Card, Moran, & Newell, 1983)
- Modelo CPS-GOMS (John & Gray, 1995)
- Modelo CMN-GOMS (John & Kieras, 1996)
- Modelo NGMOSL (Kieras, 1997)
- Modelo de nivel táctil (TLM) - (Rice & Lartigue, 2014)

2.5.1 MODELOS DE PROCESADOR HUMANO (Card et al., 1980)

Newell & Simon (1972) propusieron la Teoría sobre el Mecanismo de Razonamiento Humano para la resolución de problemas, el cual se basaba en la descomposición del objetivo principal en un árbol jerárquico de sub-objetivos.

Basados en este Mecanismo de Razonamiento Humano, Card, Moran, & Newell, (1980) desarrollaron el Modelo de Procesador Humano. El modelo consiste en

concebir el proceso de interacción como una tarea de resolución de problemas, y está compuesto por tres sistemas: (i) el sistema perceptual, que maneja los estímulos sensoriales externos, (ii) el sistema motor, que controla las acciones y, por último, (iii) el sistema cognitivo, que suministra el conocimiento suficiente para conectar ambos.

La visión del usuario como un sistema procesador de información permite la realización de las actividades (físicas y mentales) que intervienen en esa tarea, y da origen a los métodos de modelado y especificación de la interfaz de usuario más extendidos hoy día, los modelos GOMS (John & Kieras, 1996).

2.5.2 MODELO DE NIVEL DE PULSACIÓN (Card et al., 1980)

El modelo de nivel de pulsación (KLM, *KeyStroke Level Model*) es una versión simplificada de GOMS (Card et al., 1983) que predice la realización de tareas sin errores por parte de expertos, sumando los tiempos de pulsación de teclas, totaliza los tiempos de ejecución para los operadores individuales. Card et al., (1980) describen un modelo idealizado de procesador humano donde se recogen las características esenciales del comportamiento del usuario.

El modelo KLM simplifica el conjunto de operaciones disponibles a la pulsación de teclas y movimiento de ratón. Esta simplificación permite obtener predicciones del tiempo que una persona empleará para la realización de una tarea. Estas mediciones parten de unos valores experimentales que determinan mediciones concretas para la realización de actividades elementales.

La parte de ejecución de KLM se describe en cuatro operadores:

- Pulsación de teclas (**K**)
- Apuntar con el ratón un elemento de la interfaz “*pointing*” (**P**)
- Dirigir la mano sobre el teclado (**H**)
- Dibujar un segmento de línea en una cuadrícula (**D**)

Un operador mental (**M**) representa el tiempo que un usuario tiene para prepararse mentalmente para realizar una acción, y un operador de respuesta del sistema (**R**) es el tiempo que el usuario debe esperar al sistema. El tiempo de ejecución es la suma de los tiempos empleados en la ejecución de los diferentes tipos de operadores:

$$T_{\text{ejecutar}} = T_K + T_P + T_H + T_D + T_M + T_R$$

Cada uno de estos operadores tiene una estimación del tiempo de ejecución (Tabla 9).

Tabla 9: Tiempos para los operadores KLM

Operador	Descripción	Tiempo de ejecución
K	Pulsación	0.29 seg
P	Apuntar	1.1 seg.
B	Apretar o liberar el botón del ratón	0.1 seg.
H	Dirigir la mano sobre el teclado	0.4 seg.
M	Tiempo requerido al pensar	1.2 seg.
W(t)	Tiempo de espera al sistema	-
C	Clickar un link / botón	3.73 seg.
P	Lista desplegable	3.04 seg.
D	Selector de fecha	6.81 seg.
CP	Cortar y pegar (teclado)	4.51 seg.
SC	Scroll	3.96 seg.
T	Escribir texto en un campo	2.32 seg.
T (@)	Escribir un email – 25 pulsaciones	7.0 seg.
T (P)	Escribir contraseña – 8 pulsaciones	2.24 seg.
T (U)	Escribir nombre usuario – 12 pulsaciones	3.36 seg.
T (W)	Escribir dirección web – 30 pulsaciones	8.4 seg.

La mayor diferencia entre GOMS y KLM es cómo se asigna el tiempo a los operadores cognitivos y perceptivos cuando se trata de predicciones de tiempo de ejecución. Otra diferencia importante es que la jerarquía de objetivos es explícita en GOMS mientras que estaba implícita en KLM. La naturaleza de los operadores no observables es otra diferencia importante. KLM tiene un solo operador mental que precede a cada unidad cognitiva de acción. Por el contrario, GOMS no asigna tiempo a dicha sobrecarga cognitiva. Pero ambos modelos incluyen operadores para acciones mentales que consumen mucho tiempo, como ubicar información en la pantalla y verificar entradas. Ambos métodos asignan aproximadamente el mismo tiempo a actividades perceptivas y cognitivas no observables. También hacen suposiciones diferentes

sobre operadores cognitivos y perceptivos no observables, y así distribuyen el tiempo de diferentes maneras.

Aunque el KLM es una herramienta rápida y fácil de usar, tiene una serie de limitaciones:

- Mide solo un aspecto del rendimiento: el tiempo, que significa tiempo de ejecución y no tiempo para adquirir o aprender una tarea.
- Considera solo usuarios expertos. En general, los usuarios difieren en cuanto a su conocimiento y experiencia de diferentes sistemas y tareas, habilidades motoras y capacidad técnica.
- El método debe especificarse paso a paso.
- La ejecución del método debe estar libre de errores.

Además, al evaluar un sistema informático, se debe tener en cuenta que otros aspectos del rendimiento (errores, aprendizaje, funcionalidad, memoria, concentración, aceptabilidad) o el tipo de usuario (principiante o experto).

Se conoce que el modelo KLM se concentra en usuarios expertos y desempeño libre de errores, sin profundizar en el aprendizaje y la resolución de problemas, manejo de errores, satisfacción subjetiva y retención.

2.5.3 MÉTODO GOMS (Card et al., 1983)

GOMS (*Goals, Operators, Methods, and Selection rules*) comprende a una familia de lenguajes (que incluye a NGOMSL (Kieras, 1997) y KLM (Card et al., 1980)) que se basan en la visión del usuario como un sistema procesador de información (modelo de procesador humano) (Card et al., 1980). Los Objetivos (*Goals*) se refieren a lo que el usuario está intentando conseguir y se desglosan de manera jerárquica. Este tipo de acciones puede afectar al sistema (pulsar una tecla) o bien, sólo al estado mental del usuario (leer el cuadro de diálogo).

Los Operadores (*Operators*) son el conjunto de operaciones con las cuales se compone la solución deseada. Los Métodos (*Methods*) representan secuencias de operadores, agrupados para satisfacer un objetivo simple, pudiendo existir diversos caminos para conseguir el mismo objetivo, y cada uno de los cuales constituirá un método. Las Reglas de Selección (*Selection rules*) permitirán decidir el método a utilizar para alcanzar un objetivo concreto en caso de que se debiera elegir entre varios. Por ejemplo, una ventana se puede cerrar mediante el ratón clicando el icono de “cerrar” o mediante un comando del teclado (atajo).

Las tareas se descomponen para una mejor comprensión y resolver los problemas más fácilmente. El objetivo del análisis jerárquico de tareas es que se pueda seguir paso a paso el método de resolución. El análisis se puede realizar a diferentes niveles de detalle y es posible aplicarlo a distintos momentos del proceso de diseño de la interfaz de usuario. La finalidad de la interfaz debe ser que el usuario sea capaz, con el mínimo tiempo de aprendizaje posible, de realizar las tareas y objetivos que se proponga con la herramienta, dentro de las posibilidades que ésta le pueda ofrecer. Asimismo, el método GOMS puede servir también para medir el rendimiento, pudiendo analizar la memoria de corto plazo y estimar tiempos de respuestas, asumiendo tiempos constantes para cada operación.

El modelo GOMS fue uno de los primeros métodos utilizados para el diseño de interfaces de usuario. Aunque permite describir cómo un experto realiza tareas y las descompone en subtareas, uno de sus puntos débiles es que sólo considera comportamientos sin errores y tareas secuenciales.

2.5.4 MODELO CPS-GOMS (John & Gray, 1995)

John & Gray, (1995) afirman que todos los operadores ocurren en secuencia y no contienen operadores que estén por debajo del nivel de actividad. El CPM-GOMS es el cuarto método que utiliza operadores a nivel de procesador humano, asumiendo que los operadores del procesador cognitivo, el procesador perceptual y el procesador del motor pueden trabajar en paralelo entre sí. El punto más importante de CPM-GOMS es la capacidad de predecir el comportamiento experto a partir de su capacidad para modelar acciones superpuestas.

2.5.5 MODELO CMN-GOMS (Card et al., 1980)

CMN-GOMS es el modelo original de GOMS propuesto por (Card et al., 1980). CMN originario de "Card, Moran y Newell" y tomando el modelo KLM (Card et al., 1980) como base, agrega subobjetivos y reglas de selección. Este modelo puede predecir la secuencia del operador, así como el tiempo de ejecución. Un modelo CMN-GOMS puede representarse en forma de programa, lo que lo hace susceptible de análisis y ejecución. CMN-GOMS se ha utilizado para modelar procesadores de texto y sistemas CAD para el diseño ergonómico (Gong & Kieras, 1994). El método CMN puede predecir la secuencia del operador y el tiempo de ejecución de una tarea en un nivel

cuantitativo y puede centrar su atención en los métodos para lograr los objetivos en un nivel cualitativo.

2.5.6 MODELO NGMOL (Kieras, 1997)

NGOMSL (*Natural Goals Operators Methods and Selection Rules Language*) es un lenguaje natural estructurado para representar modelos GOMS y seguir un procedimiento para su construcción (Kieras, 1997). El modelo NGOMSL proporciona predicciones sobre la secuencia del operador, el tiempo de ejecución y el tiempo que necesita para aprender el método. Un analista construye el modelo NGOMSL realizando un análisis jerárquico de los objetivos y métodos, hasta que los métodos contengan solo operadores primitivos, esto es, operadores de nivel de pulsación de tecla.

2.5.7 MODELO DE NIVEL TÁCTIL (TLM) (Rice & Lartigue, 2014)

GOMS (Card et al., 1983) y sus variantes han sido diseñados para evaluar interfaces dirigidas por teclado y ratón, pero debido a integración de pantallas táctiles, Rice & Lartigue, (2014) propusieron el Modelo de nivel táctil (TLM, *Touch Level Model*). Los autores proponen el modelo TLM como un modelo para predecir con precisión el desempeño real del usuario en una pantalla táctil.

Los autores agregan varios operadores para las interacciones de la pantalla táctil:

- Distracción (**X**) es un operador multiplicativo que se aplica a otros operadores para modelar distracciones del mundo real.
- Los Gestos (**G**) se conceptualizan como combinaciones especializadas de movimientos de los dedos en la pantalla del dispositivo.
- Pinch (**P**) se refiere al gesto realizado con dos dedos, inversa al zoom.
- Zoom (**Z**) la aplicación inversa del operador Pinch.
- Ley Inicial (**I**) se toma en cuenta si el usuario está preparado para iniciar el uso de la pantalla (botón de inicio o contraseña).
- El operador de toque (**T**) se refiere a la acción física de tocar un área en el dispositivo de pantalla táctil para iniciar algún cambio o acción.
- Deslizar - scroll (**S**) generalmente un deslizamiento horizontal o vertical como cambiar la página en un libro.

- Inclinación (**L (d)**) utilizada para interactuar con dispositivos equipados con acelerómetros.
- Gesto de rotación (**O (d)**) en el que dos o más dedos se colocan en la pantalla y luego se giran alrededor de un punto central.
- Arrastrar (**D**) similar a Deslizar (S), Arrastrar también implica tocar una ubicación en la pantalla y luego mover uno o más dedos en una dirección específica.

2.6 CONCIENCIA DE SITUACIÓN (*SITUATIONAL AWARENESS*)

La conciencia de situación (SA, *Situational Awareness*) se refiere a la percepción y comprensión de una persona de lo que ocurre a su alrededor y es importante para una toma de decisiones y una acción eficaces (M. C. Wright, Taekman, & Endsley, 2004). Más concretamente, el conocimiento de la situación es la extracción continua de información contextual, la integración de esta información con conocimientos previos para formar una imagen mental, y el uso de esa imagen para anticiparse a los acontecimientos futuros. Se define también como una representación mental activa del estado de las funciones cognitivas activadas en el contexto del logro de un objetivo en relación con una tarea (Breton & Rousseau, 2001). Por ejemplo, para un controlador de tráfico aéreo, la SA significa saber acerca de las posiciones actuales de los aviones, los planes de vuelo y la predicción de los futuros estados para detectar posibles conflictos. Por lo tanto, en términos operacionales, SA significa tener comprensión del estado y la dinámica de un sistema para poder anticiparse a los cambios y acontecimientos futuros (Endsley, 2017).

El mantenimiento de un SA adecuado permite a las personas minimizar los errores, tomar decisiones correctas y mejorar su rendimiento. Además, la SA puede estar críticamente relacionada con la experiencia (Breton & Rousseau, 2001).

El análisis de la conciencia de la situación se utiliza comúnmente en la etapa posterior del diseño de la evaluación o en una etapa de reevaluación de un sistema o entorno existente. A menudo se utiliza para detectar incidentes de vuelo o accidentes médicos, pero también se puede utilizar para la capacitación o el desarrollo de procedimientos y tareas.

2.6.1 TEORÍA DE ENDSLEY

La teoría más conocida es la de Endsley (1995). Endsley & Garland (2000) por su parte, propusieron un modelo marco de SA basado en la teoría del procesamiento de la información. El Modelo de Endsley, como se muestra en la Figura 19, describe la SA como un modelo interno derivado del contexto y precede a la toma de decisiones y al rendimiento. Como también se puede observar, una serie de factores individuales y de tareas/sistemas (por ejemplo, la memoria, los objetivos, la carga de trabajo y la automatización) afectan a la SA.

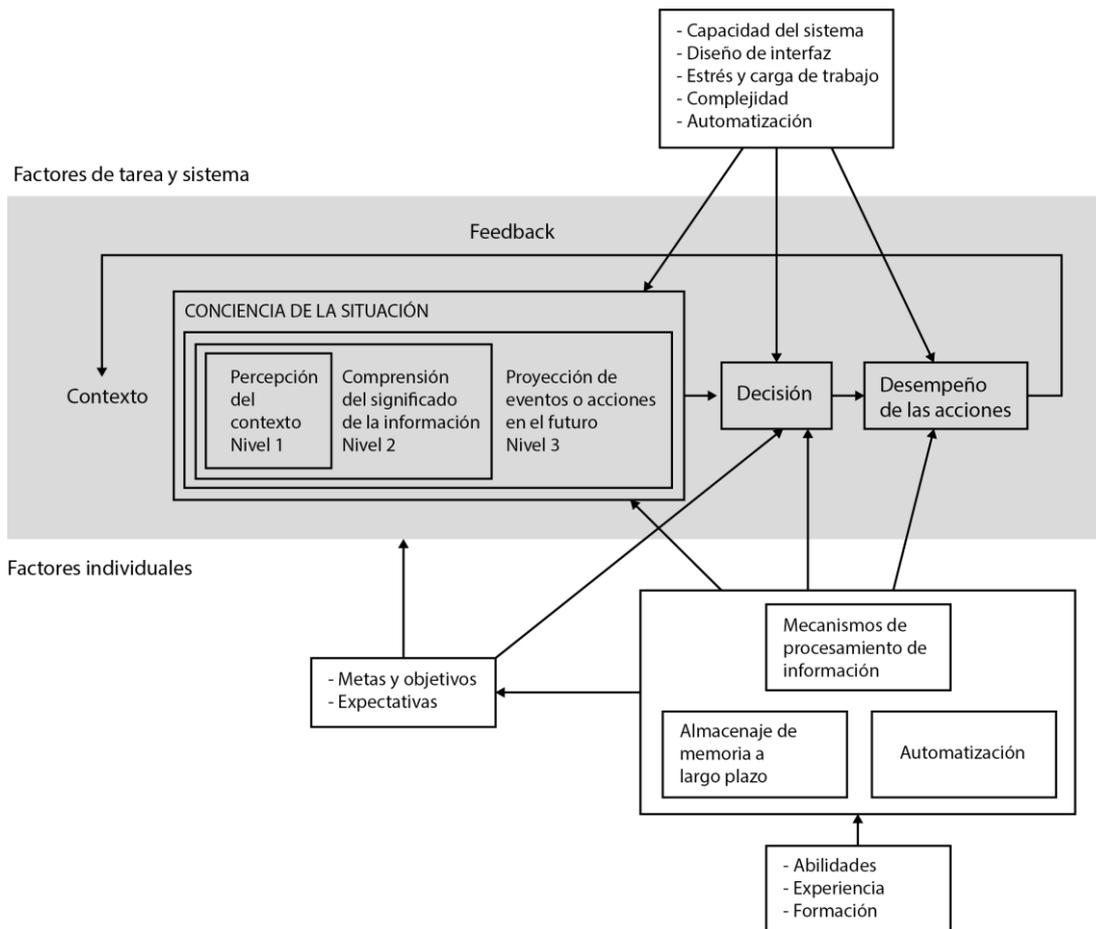


Figura 19: Modelo de Endsley (Endsley, 1995)

Otro aspecto importante del Modelo de Endsley es que el SA puede ser dividido en tres niveles de procesamiento de la información. Estos niveles son:

- Nivel 1 SA – Percepción de contexto. Este es el primer paso fundamental en la SA e implica percibir y atender a importantes señales o "elementos" en el contexto. Así, la SA de nivel 1, el nivel más básico de la SA, implica los procesos de vigilancia, detección de indicios y reconocimiento simple, que conducen a la toma de conciencia de múltiples elementos situacionales (objetos, eventos, personas, sistemas, factores ambientales) y sus estados actuales (ubicaciones, condiciones, modos, acciones).
- Nivel 2 SA – Comprensión del significado de la información. Este paso va más allá de la mera percepción e implica la integración de datos e información (Nivel 1). La formación de la SA implica una síntesis de los elementos a través de los procesos de reconocimiento, interpretación y evaluación de patrones. El

SA de nivel 2 requiere integrar esta información para entender cómo impactará en las metas y objetivos del individuo.

- Nivel 3 SA – Proyección de eventos o acciones en el futuro basadas en la percepción y la comprensión. Este nivel de SA implica ser capaz de anticipar los acontecimientos futuros y sus implicaciones basándose en la comprensión del contexto (Nivel 2). El SA de nivel 3 se logra mediante el conocimiento del estado y la dinámica de los elementos y la comprensión de la situación (SA de nivel 1 y 2). Tras ello, esta información para determinar cómo afectará a los estados futuros del entorno operacional.

La Figura 20 es la versión simplificada (Endsley & Garland, 2000) derivada del modelo de (Endsley, 1995) donde se realiza la agrupación de los factores relacionados con el contexto y la tarea por una parte y los factores individuales por otro lado.

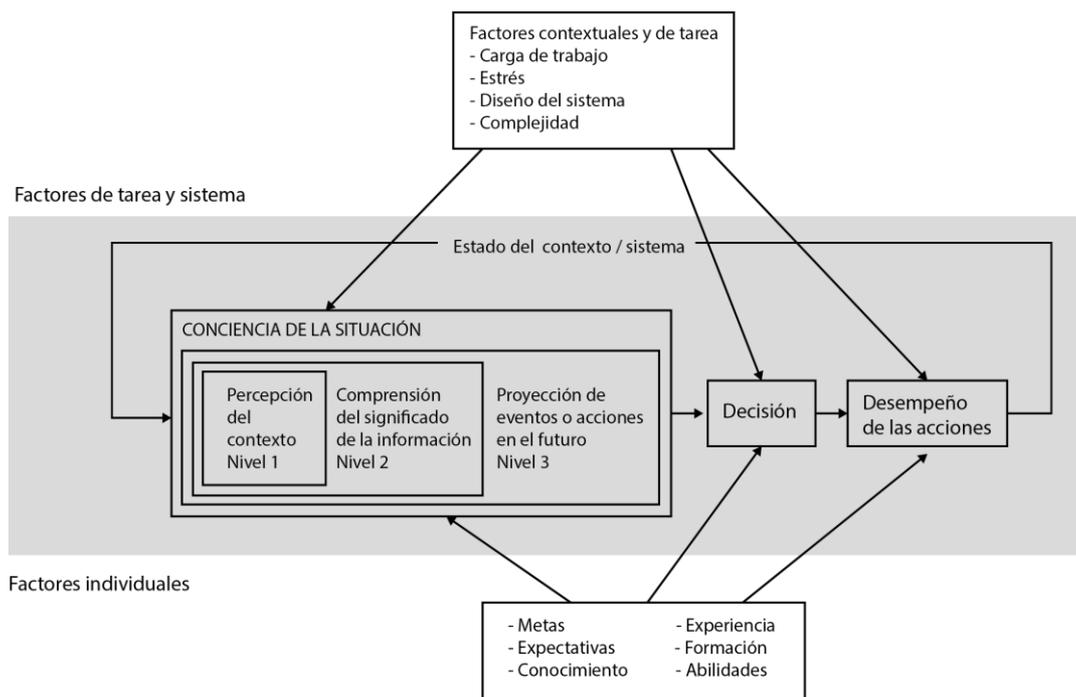


Figura 20: Versión simplificada del modelo de Endsley.

2.6.2 TÉCNICAS E INDICADORES DE LA SA

Existen numerosos métodos para la evaluación de la SA. Las variables personales, situacionales y de contenido deben ser consideradas para seleccionar unas medidas apropiadas. Los factores personales incluyen el número de personas (SA individual o

SA de equipo) y los niveles de experiencia de las personas involucradas. Las variables situacionales incluyen la presencia de una interfaz tecnológica y niveles aceptables de realismo/control e intrusismo (Breton & Rousseau, 2001). Además, se puede utilizar como criterio la capacidad de verbalización del contenido del SA y la inferencia de la observación.

A lo largo de los años se han desarrollado varias medidas de SA que pueden agruparse en tres categorías:

- Técnicas de consulta, en las que se pregunta directamente a las personas sobre su percepción de ciertos aspectos de la situación.
- Técnicas de calificación, en las que las propias personas, o los observadores, se les pide que califiquen el SA mediante varias dimensiones presentadas a modo de escalas.
- Técnicas basadas en el rendimiento, en las que el nivel de SA se mide a partir del nivel de rendimiento. El fundamento de esta técnica es que se necesita un buen SA para lograr un buen rendimiento.

La SA puede ser evaluada y analizada con medidas basadas en la observación de actividades en curso, tales como índices de procesos y medidas de rendimiento (por ejemplo, SABARS), mediciones directas tales como la técnica de pensar en voz alta o mediciones de tiempo real (por ejemplo, SAGAT), técnicas de medición retrospectiva (por ejemplo, SARS) y mediciones de SA en equipo (por ejemplo, CARS). La Tabla 10 presenta el directorio de los principales instrumentos para medir la SA.

Tabla 10: Directorio de los principales instrumentos para medir la SA.

Categoría	Técnica	Referencia	Descripción
Subjetivo	Situational Awareness Assessment Technique (SART)	(Taylor, 1990)	Desarrollada a través de análisis con pilotos. Los operadores valoran en una escala bipolar de 10 dimensiones el grado en que perciben (1) una demanda de atención del operador, (2) oferta de atención y (3) comprensión de la situación. Los 10 componentes de la escala se combinan para proporcionar una puntuación global.

Subjetivo	CARS (Crew awareness rating scale)	(McGuinness & Foy, 2000)	<p>Un cuestionario genérico de ocho partes que aborda tanto el contenido y el procesamiento mental de SA con respecto a 4 funciones separadas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Percepción: asimilación de nueva información • Comprensión: comprensión de la información en su contexto • Proyección: anticipación de posibles desarrollos futuros • Integración: síntesis de lo anterior con los cursos de acción de cada uno. <p>Cada función se califica del 1 al 4 (1 siendo el mejor y 4 siendo el peor).</p>
Subjetivo	Situational awareness behaviourally anchored rating scale (SABARS)	(Matthews, Pleban, Endsley, & Strater, 2000)	Un observador valora 28 comportamientos relacionados con SA
Subjetivo	Situation awareness rating scale (SARS)	(Waag & Houck, 1994)	Los participantes y observadores contestan a una escala de 31 ítems
Desempeño implícito	Mini sitreps	(McGuinness & Foy, 2000)	Los informes de situación breves (mini informes de situación) se utilizan para proporcionar una medida objetiva de la coincidencia entre la comprensión de la situación por parte del sujeto y la situación real en ese momento.
Desempeño explícito	Situation Awareness Global Assessment Technique (SAGAT)	(Endsley, 1988)	<p>Emplea congelaciones periódicas y aleatorias en un escenario de simulación durante el cual todas las pantallas del operador quedan temporalmente en blanco.</p> <p>Se hace una serie de preguntas al operador con la intención de sondear su comprensión de la</p>

			situación
Desempeño explícito	Sondeos en tiempo real	(Endsley, 1988)	Utiliza preguntas del tipo SAGAT, pero no implica borrar la interfaz. Mide el tiempo de respuesta así como la precisión.

En la Tabla 11 se muestran los indicadores de un buen SA (Jeannot, Kelly, & Thompson, 2003) y en la Tabla 12, los factores que impactan en la SA.

Tabla 11: Indicadores de una buena y mala SA. Modificado de (Jeannot et al., 2003)

Indicadores de un buen SA	Indicadores de un malo SA
<ul style="list-style-type: none"> • Anticiparse a los acontecimientos • Ser capaz de predecir la próxima acción • La gestión de los recursos (Sistemas técnicos, interno, equipo...) • Gestionar el tiempo • Sensación de tener el control y ser capaz de implementar soluciones • Tomar la decisión correcta en el mejor momento, • Detección de desajustes 	<ul style="list-style-type: none"> • Inconsistencia en la comunicación con el sistema y personas de alrededor • Variación repentina e inesperada de la carga de trabajo • Confusión • Necesita comprobar la misma información varias veces

Tabla 12: Factores que impactan en la SA

Factores que conducen a la pérdida de SA	Estrategias utilizadas para recuperar el SA
<ul style="list-style-type: none"> • La presión del tiempo • Centrarse en la información no pertinente • Convertirse en reactivo en lugar de proactivo • Aumento de la incidencia 	<ul style="list-style-type: none"> • Solicitar ayuda para disminuir la carga • No gastar demasiado tiempo en un solo problema • Priorizar el trabajo realizar las tareas

<ul style="list-style-type: none">• Ruido/distracción• Fatiga mental y/o física• La falta de información• Necesidad de procesar demasiada información a la vez• Eventos inusuales o inesperados	importantes
---	-------------

2.7 LA EXPERIENCIA DE USUARIO

La investigación sobre las emociones en la interacción entre las personas y la tecnología ha mantenido durante mucho tiempo que el rendimiento de las tareas durante el uso de una tecnología se correlaciona con las respuestas emocionales (Hornbaek & Law, 2007). Es por ello que se ha realizado una revisión bibliográfica sobre la Experiencia de Usuario (UX). En esta sección se recogen los siguientes apartados:

- Las bases de la UX
- El UX y la adopción tecnológica
- Necesidades psicológicas y el UX
- La carga de tareas
- Las emociones y el diseño de interfaz de usuario
- Modelos UX

2.7.1 LAS BASES DE LA UX

La Experiencia de Usuario (UX) es un campo de investigación en crecimiento, que en los últimos años ha ganado considerable interés. En general, se considera que el campo de investigación de la UX incluye todos los factores que afectan a la Interacción del Usuario (UI) durante la experiencia con un sistema o producto, de forma que ayudan a recoger las sensaciones que los usuarios experimentan al interactuar con entornos digitales (Bødker, 2006; Desmet & Hekkert, 2007; Hassenzahl, 2010; Norman, 2004; Wright, Wallace, & McCarthy, 2008).

Los estudios de la UX siguen en su mayoría la línea psicológica de pensamiento, en línea con el enfoque de "tecnología como experiencia" (McCarthy & Wright, 2004), que cambió el enfoque del diseño hacia aspectos subjetivos y emocionales de la interacción con los productos o servicios. La mayoría de los investigadores coinciden en que la experiencia de usuario es; subjetiva, holística, situada y dinámica (Hassenzahl, 2010; Law, Roto, Hassenzahl, Vermeeren & Kort, 2009).

En contraste con una visión instrumental orientada a tareas, la investigación UX se centra en las cualidades hedónicas. Varios autores hablan de la relevancia de los factores de diseño para generar interacciones y emociones satisfactorias (Desmet, 2003; Jordan, 2000; D. Norman, 2004). En este sentido, Jordan (2000) postula que,

cumpliendo las necesidades psicológicas de los usuarios, la experiencia generada al interactuar con los sistemas digitales será satisfactoria. Hassenzahl, (2003) también ha seguido la misma línea en sus publicaciones, defendiendo que las necesidades psicológicas son la fuente de experiencias positivas. El trabajo de Norman (2004) también ha seguido la misma dirección, ya que el autor habla de la importancia de las respuestas emocionales para conseguir el éxito de los productos. Además, argumenta que los aspectos cognitivos y afectivos deberían de ser incluidos en los procesos de diseño.

En esta línea, Bonnardel & Moscardini, (2012) y Shneiderman (2004) defienden la importancia de desarrollar nuevos sistemas digitales, que además de integrar las características funcionales adaptadas a las necesidades de los usuarios, integren características de diseño que evoquen emociones a través de sus cualidades. Es importante comprender (i) los procesos emocionales de los usuarios y (ii) cómo despertar una emoción a través de una interfaz.

Una óptima UX es hoy en día el objetivo de la mayoría de los productos y servicios destinados al mercado de consumo. Además, la UX también está recibiendo cada vez más atención en el desarrollo de productos y servicios industriales.

2.7.2 MODELOS UX

En este apartado se exponen los modelos UX que se han identificado como los más relevantes. La revisión recoge la importancia de integrar cualidades instrumentales/no instrumentales o pragmáticas/hedónicas en la solución a diseñar, ya que estos producen una serie de respuestas de carácter cognitivo y afectivo en las personas. Estas respuestas afectan en la toma de decisiones y la ejecución de tareas, siendo claves para el bienestar y la eficiencia de tareas.

2.7.2.1 Modelo UX de Hassenzahl (Marc Hassenzahl, 2003)

El modelo de Marc Hassenzahl (2003) busca encontrar el “carácter” de un producto por medio de un conjunto de atributos hedónicos y pragmáticos propios del artefacto tecnológico. Estos atributos producen una serie de respuestas por parte del individuo, las cuales pueden ser cognitivas (atracción) o afectivas (placer y satisfacción), tal como muestra la Figura 21.

El concepto de “carácter” del artefacto tecnológico se basa en la propuesta teórica de Janlert & Stolterman (1997) sobre la Gestalt de un estímulo, y en el modelo teórico

para evaluar el producto como un sistema de comunicación propuesto por Mono (1997). De esta manera, Hassenzahl mide las respuestas del usuario a partir de (a) los atributos pragmáticos y (b) los atributos hedónicos, que son particulares a cada producto.

Los atributos pragmáticos se refieren a la manipulación y utilidad del producto, mientras que los atributos hedónicos se refieren al bienestar psicológico del usuario siguiendo la tradición de comparar las motivaciones intrínsecas y las motivaciones extrínsecas del individuo propuestas por Vallerand & Rattele (2002). En el modelo, la usabilidad se aborda de forma pragmática. A su vez, los atributos hedónicos enfatizan el bienestar psicológico a través del cumplimiento de los objetivos (estimulación, identificación y evocación).

En el modelo UX, la experiencia de interacción se caracteriza por ser consecuencia de la interacción: placer, satisfacción y valoración positiva del producto (en términos de atracción).

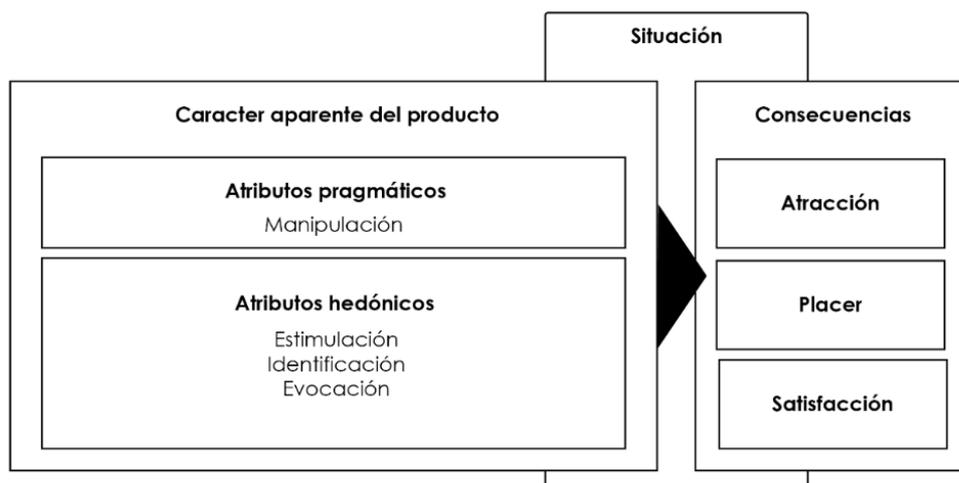


Figura 21: Modelo UX de Hassenzahl (Basado en Marc Hassenzahl, 2003)

2.7.2.2 Componentes de la Experiencia de Usuario (CUE) (Thüring & Mahlke, 2007a)

Uno de los modelos que integra los aspectos experienciales e instrumentales, es el modelo “Componentes de la Experiencia de Usuario” (CUE, *Components of User Experience*) (Thüring & Mahlke, 2007a).

El modelo CUE (Thüring & Mahlke, 2007a) integra aspectos de la UX y evaluación del sistema. Aborda características de la persona, el sistema y la tarea como determinantes de las características de interacción, que determinan la UX (Figura 22).

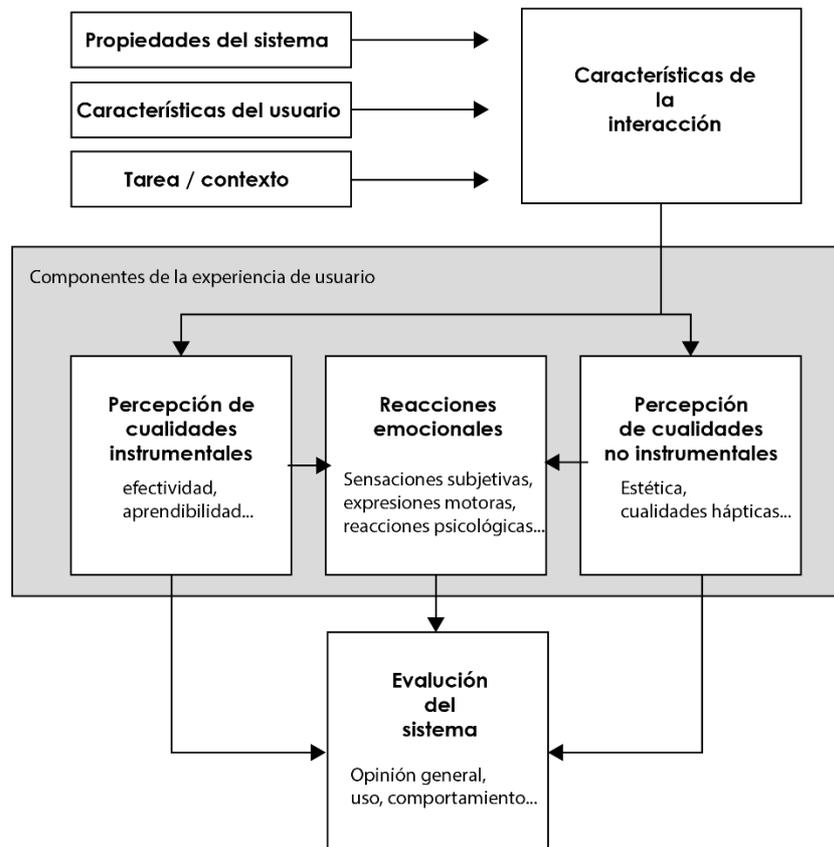


Figura 22: Componentes de la experiencia de usuario (Adaptado de Thüring & Mahlke, 2007)

En este modelo la experiencia de interacción se divide en tres componentes: (i) cualidades instrumentales, (ii) cualidades no instrumentales y (iii) respuestas emocionales. Las cualidades instrumentales se refieren a la utilidad y facilidad de uso, y corresponden a atributos pragmáticos. Las cualidades no instrumentales se refieren a aspectos tales como la estética, y corresponden a atributos hedónicos en el modelo de Hassenzahl (2010). La categoría de cualidades no instrumentales generalmente incorpora aspectos que son importantes para los usuarios pero que no están conectados a su rendimiento con un sistema. Las reacciones emocionales en el modelo se caracterizan por múltiples componentes, tales como sentimientos subjetivos, expresiones motoras y evaluaciones cognitivas (Mahlke & Minge, 2008). Teniendo en cuenta estos aspectos, se considera que el modelo CUE podría ser un

marco conceptual adecuado para incorporar conceptos de la aceptación tecnológica y componentes UX.

2.7.2.3 Modelo de evaluación de la calidad de la interfaz de usuario (Hartmann, Sutcliffe, & Angeli, 2008)

El modelo de evaluación de la calidad de la interfaz de usuario (*Model of user-interface quality assessment*) de Hartmann et al., (2008) tiene por objeto describir los procesos de toma de decisiones de los usuarios en la evaluación de interfaces interactivas. El modelo se basa en la teoría de la toma de decisiones adaptativa (Payne et al., 1993). Los autores señalan que la toma de decisiones y los juicios de calidad de los usuarios son adaptables y que dependen de las características de la tarea y del contexto, así como de las experiencias previas de los usuarios.

El modelo (Figura 23) propone tres etapas durante la etapa de interacción; (i) la valoración de la solución, donde los usuarios valoran la aplicación de acuerdo con sus objetivos y el dominio de la tarea, (ii) la selección de criterios, que son seleccionados en función de sus objetivos y tareas y (iii) la evaluación de la experiencia de uso que estará determinada por los criterios seleccionados. La toma de decisiones para la evaluación de la calidad de la interfaz de usuario es un proceso iterativo, debido a que los usuarios modifican constantemente su opinión a medida que avanza su experiencia.

Aunque la secuencia causal entre la evaluación de los criterios y la del juicio general no está especificado en el modelo, los autores sugieren que la preferencia es una consecuencia de la experiencia de los usuarios en base a los criterios seleccionados. Una secuencia causal alternativa sería que los usuarios justificaran sus preferencias generales mediante la selección y evaluación de varios criterios.

El modelo de evaluación de la calidad de la interfaz de usuario hace hincapié en el contexto y los factores de interacción relacionados con las tareas y tiene por objetivo tener en cuenta los cambios en evaluaciones de un artefacto en distintas situaciones. Los antecedentes de los usuarios se consideran como una representación de las características de las personas en el modelo, a pesar de no estar directamente relacionada con la experiencia de interacción de los participantes en los estudios.

Estas características percibidas del producto, como la usabilidad y la estética, no se separan en categorías instrumentales/no instrumentales o pragmáticas/hedónicas como, por ejemplo, en el modelo CUE.

En un caso de estudio llevado a cabo por Hartmann et al., (2008) utilizaron dos versiones diferentes (por una parte basadas en menús y por otra parte, basadas en metáforas) de dos sitios web con exactamente el mismo contenido de información y la misma valoración de los juicios de los participantes sobre la usabilidad, la estética (clásica y expresiva), la información y la calidad del servicio, el compromiso y la preferencia general. En el estudio, la usabilidad y estética expresiva fueron los predictores más importantes de las preferencias generales de los usuarios. Las preferencias de los participantes por el estilo de diseño cambiaron según el contexto de uso y las poblaciones destinatarias (niños o personas maduras). Para un uso serio y maduro, se prefirió el diseño basado en menús. Las versiones basadas en metáforas fueron considerados más apropiados por los participantes para los niños y para el propósito de ocio. Los resultados demostraron que los usuarios hicieron un balance entre usabilidad y estética, y adaptaron sus procesos de toma de decisiones de acuerdo con los criterios sobre las características de la tarea/contexto.

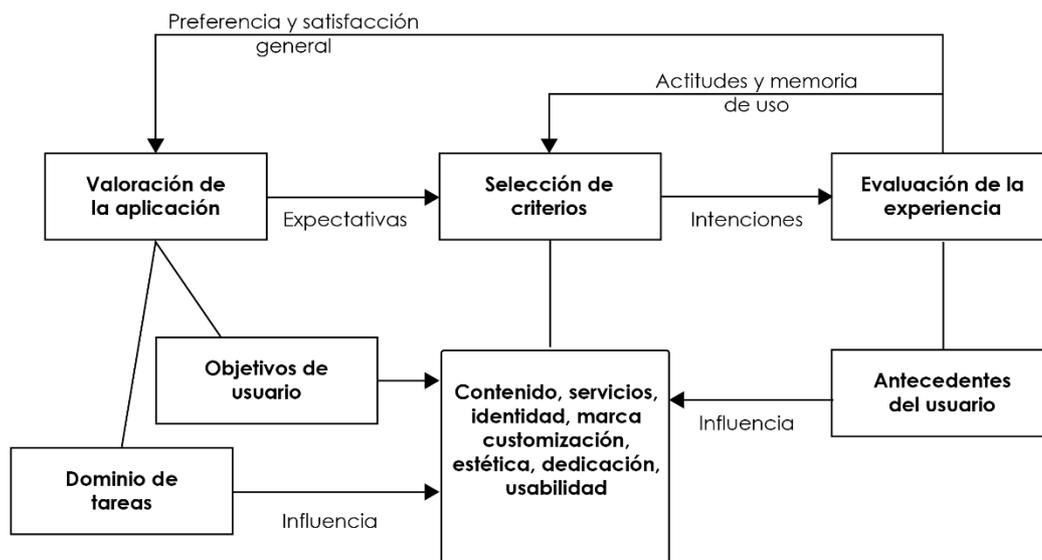


Figura 23: Modelo de evaluación de la calidad de la interfaz de usuario (Hartmann et al., 2008)

2.7.2.4 Modelo psicológico-ambiental de la Experiencia de Interacción (Porat & Tractinsky, 2012)

El modelo psicológico-ambiental de la experiencia de interacción (Porat & Tractinsky, 2012) pretende describir cómo las características de diseño de los sitios de compras en Internet influyen en los estados emocionales de los usuarios y cómo estos cambios

influyen en las actitudes hacia las soluciones. El modelo se basa en un enfoque de la psicología ambiental (Mehrabian & Russell, 1974), que afirma que los cambios en el ambiente inducen ciertos cambios emocionales, que a su vez influyen en el comportamiento (respuestas de enfoque/evitación).

Las características del sitio web (o estímulos ambientales en general) son descrito en términos de estética y usabilidad (Figura 24). Los autores definen que la estética visual es un determinante importante del placer y la satisfacción de los usuarios (Lavie & Tractinsky, 2004).

Los autores establecen que hay dos dimensiones de la estética: la clásica y la expresiva. La estética clásica representa un diseño claro y ordenado, mientras que la estética expresiva representa la creatividad, originalidad e innovación.

El modelo incluye tres dimensiones de respuestas emocionales: El (i) placer se refiere a la valencia de la respuesta emocional (positiva o negativo). La (ii) excitación se refiere al grado de estimulación causado por los estímulos del ambiente. La (iii) dominancia representa el grado de control que se percibe sobre el medio ambiente. De acuerdo con el modelo, las respuestas emocionales positivas (es decir, las buenas experiencias de interacción) son determinantes importantes de las actitudes positivas hacia sitios de compras en Internet (o soluciones en general). El estudio determina que la estética y la usabilidad son factores determinantes de las respuestas emocionales. La usabilidad tiene un efecto positivo significativo en la dimensión de dominancia, lo que significa que un nivel de usabilidad mayor implica que el usuario sienta más control durante el curso de la interacción. La dominancia, sin embargo, no muestra efecto significativo en las actitudes hacia los artefactos.

Los resultados obtenidos, sugieren que el aumento de la usabilidad hace que la interacción sea más placentera y que los usuarios sientan mayor control. Tener el control, sin embargo, puede ser algo que se espera durante el proceso de interacción y puede percibirse como un requisito mínimo, un factor de higiene (Zhang & von Dran, 2000). Por otra parte, la investigación sostiene que la usabilidad tiene un efecto significativo en las actitudes.

Este concepto puede generalizarse desde los sitios de compras en Internet a otras soluciones digitales. Por ejemplo, la prominencia de la estética clásica puede ser mayor para un sitio de noticias financieras que para un blog de moda. Del mismo modo, la usabilidad puede ser más importante que la estética en el caso de, por ejemplo, las aplicaciones de gestión de documentos en línea (Aranyi & Schaik, 2016).

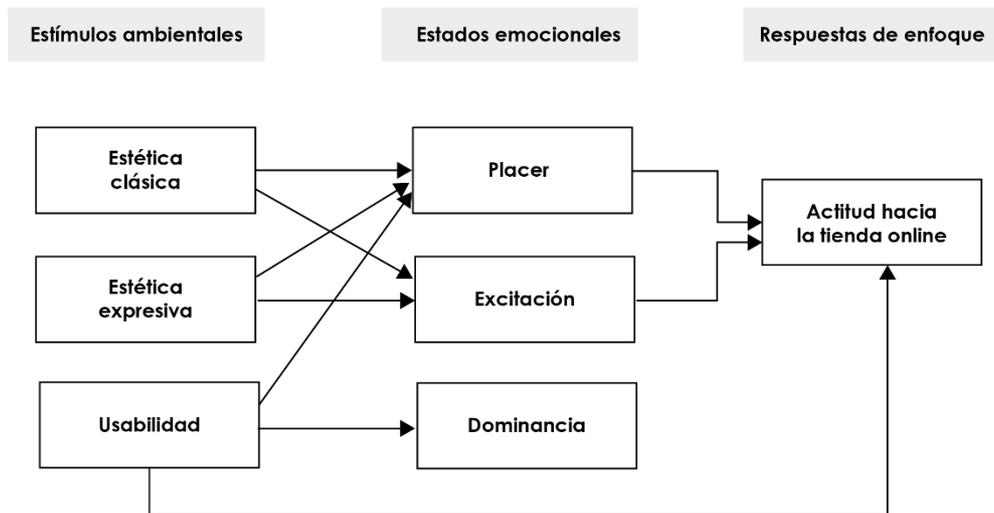


Figura 24: Modelo psicológico-ambiental de la Experiencia de Interacción

En el modelo, la experiencia de interacción se caracteriza como la respuesta emocional a las características percibidas del artefacto (usabilidad y estética). Asimismo, el modelo demostró que las reacciones afectivas se ven afectadas por las características estéticas y la facilidad de uso, y las reacciones afectivas.

La estética en general puede ser considerada como una subcategoría de atributos hedónicos (o un antecedente de calidad hedónica percibida), mientras que la usabilidad corresponde a atributos pragmáticos. Las actitudes son consecuencias de la interacción.

2.7.2.5 Modelo de Experiencia de Usuario Unificada (Von Saucken & Gomez, 2014)

El modelo de Experiencia de Usuario Unificada (*The unified User Experience model*) de Von Saucken & Gomez, (2014) trata de recoger el aspecto complejo, dinámico y evolutivo de la experiencia a lo largo del tiempo y se compone de los niveles Micro y Macro del UX. Este modelo del 2014 se basa en el Modelo de Interacción de Experiencia de Usuario (UXIM, *User Experience Interaction Model*) de Von Saucken et al., (2013).

Los autores consideran que el modelo contiene tres niveles; (i) la interacción entre el usuario y el producto, (ii) la interacción entre usuario-producto dentro del contexto de Micro UX, y (iii) la interacción usuario-producto-Micro UX dentro del contexto de Macro UX (Figura 25).

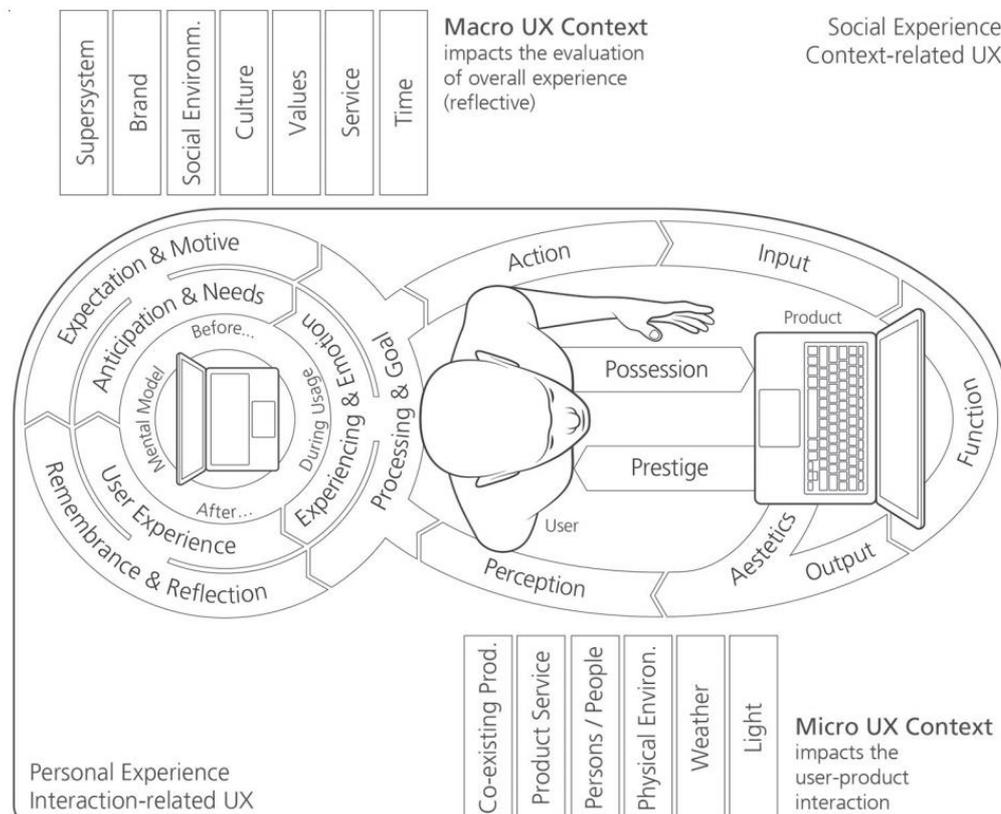


Figura 25: Modelo de Experiencia de Usuario Unificada (Von Saucken & Gomez, 2014)

Cada nivel se puede entender por separado, pero el conjunto de los tres, proporciona una visión más holística de la Experiencia de Usuario. Asimismo, los elementos del modelo pueden ser explicados en base a las tres capas descritas a continuación.

- **Interacción usuario-producto:** Basado en el modelo UXIM de Von Saucken et al., (2013), se analizan los factores racionales y emocionales de los individuos antes, durante y después del uso.
- **Interacción usuario – producto en el contexto Micro UX:** Este nivel corresponde al nivel visceral definido por Norman, (2004) donde se analizan las

experiencias estéticas causadas por el diseño estético del producto, lo cual influye los objetivos motores de los usuarios (Hassenzahl, 2010). Consta de los siguientes elementos; productos co-existent, servicio del producto, las personas, el entorno físico, el clima y la luz.

- **Usuario-producto-Macro UX:** Este nivel engloba el contexto de interacción. Los autores postulan que estas experiencias se procesan a nivel reflexivo y conductual (D. Norman, 2004) y se relacionan principalmente con los placeres psicológicos, sociales e ideológicos (Jordan, 2000). Se consideran experiencias a largo plazo relacionados con las metas (Hassenzahl, 2010). Se compone de los elementos; supersistema, marca, entorno social, cultura, valores, servicio y tiempo.

2.7.3 LA UX Y LA ADOPCIÓN TECNOLÓGICA

En el estudio de las experiencias humanas, la emoción se considera uno de los aspectos centrales y, en consecuencia, también juega un papel central en la comprensión de las experiencias de los usuarios. La mayoría de las investigaciones científicas sobre la UX relacionan las emociones de los usuarios con sus acciones (Marc Hassenzahl, Diefenbach, & Göritz, 2010).

En esta línea, estudios psicológicos señalan la importancia que las emociones tienen en el conocimiento humano, el proceso de aprendizaje, la toma de decisiones e inteligencia (Goleman, 1996). Además, se conoce que las emociones positivas pueden aumentar la motivación e implicación de las personas (Isen, 2001), facilitando así procesos de aprendizaje (Kort & Reilly, 2001).

Si se analiza desde una perspectiva más global, el diseño centrado en las personas y la experiencia de uso, trabajan aspectos que favorecen el desarrollo de trabajadores más activos, críticos, participativos, motivados y con mayor vínculo afectivo respecto a lo que les rodea. Por ello, la usabilidad, el diseño de experiencias y el ámbito de la interacción se podrían considerar como la disciplina apropiada para aumentar la eficiencia, interacciones satisfactorias, generar afecto y garantizar procesos de aprendizaje. Por todo ello, se considera necesario conocer el nivel de aceptación de los usuarios respecto a las nuevas tecnologías, desarrollos o productos que se les proponen, y analizar cómo afectan las variables de la experiencia en la aceptación.

Las emociones se pueden estudiar desde dos puntos de vista principales: las emociones dimensionales y las emociones discretas, considerándose complementarias entre ellas.

Las investigaciones empíricas realizadas desde el punto de vista dimensional, han demostrado que las emociones pueden ser organizadas en dos dimensiones principales: la valencia (teniendo un rango desde el afecto negativo a neutral y positivo) y la excitación (desde la calma a situación neutral y muy excitado).

Desde el punto de vista de las emociones discretas, existen teorías y métodos que hablan de que las emociones deberían ser incluidas en la investigación de la emoción. Uno de los métodos más utilizados ha sido PANAS-X de Watson & Clark, (1999), que estudia las emociones experimentadas a través de un conjunto equilibrado de diez emociones positivas y diez negativas (por ejemplo, inspirado, emocionado, asustado o angustiado). Este método permite calcular la puntuación relevante por emociones, así como una puntuación media del afecto. Esto es especialmente útil, ya que las personas pueden vivir experiencias positivas y negativas durante una misma experiencia.

Los conceptos relacionados con las emociones han sido relacionados en diversos estudios sobre adopción de la tecnología, pero Straub (2009), observó que no hay una base empírica suficiente para comprender la influencia de las emociones en el proceso de adopción de tecnología.

La investigación sobre la adopción tecnológica y constructos relacionados con las emociones se limita principalmente a los constructos incluidos en TAM3, el cual incluye la percepción de disfrute y ansiedad, relacionando estos con la percepción de facilidad de uso (Venkatesh & Davis, 2000).

Otros investigadores también han relacionado estas variables con otros constructos de diversas versiones de los modelos TAM. Según Partala & Saari (2015), Van der Heijden (2004) dedujo que el disfrute percibido puede estar directamente relacionado con la intención de uso en sistemas de información hedónicos (por ejemplo, un sitio web de películas). Existen también algunos estudios que han usado conceptos sobre emociones más avanzadas. Cenfetelli (2004) creó un rango de emociones positivas y negativas y encontró que las emociones positivas están positivamente relacionadas y las emociones negativas por su lado, negativamente relacionadas a la facilidad de uso percibida del modelo TAM, en un contexto de e-business.

En la misma línea, Kim, Chan & Gupta, (2007) utilizaron las dos dimensiones emocionales principales (valencia y excitación) en un estudio centrado en el uso de

servicios de Internet móvil, y encontró que ambas dimensiones se relacionaban positivamente con la actitud hacia el uso de los servicios.

Por el contrario, y basándose en la teoría de la evaluación, Beaudry y Pinsonneault, (2010) desarrollaron un marco de cuatro emociones (ira, ansiedad, emoción y felicidad) y descubrieron que estas emociones estaban relacionadas con el uso de las TI entre los administradores de cuentas bancarias.

2.7.4 NECESIDADES PSICOLÓGICAS Y LA UX

Otro concepto central en la comprensión de las experiencias humanas y el bienestar es el concepto de las necesidades psicológicas.

La teoría de la autodeterminación (Deci & Ryan, 2014) sugiere que son tres las necesidades de importancia central: (i) la autonomía (participar activamente en la determinación de su propio comportamiento sin influencia externa), (ii) competencia (experimentar por sí mismo cómo de capaz y competente es a la hora de controlar el contexto y ser capaz de predecir de manera confiable los resultados) y (iii) el vínculo (la relación con los demás y en términos de sistemas digitales, la relación del usuarios con el sistema).

Paralelamente, Sheldon, Elliot, Kim, & Kasser (2001) presentaron un modelo de diez necesidades psicológicas: autorrealización, significado, desarrollo físico, placer, estimulación, dinero, lujo, seguridad, autoestima, popularidad e influencia. Los autores proponen un cuestionario para estudiar los grados de satisfacción de las diez necesidades usando 30 preguntas (tres por cada necesidad) y aplicando el método en dos estudios sobre las experiencias más y menos satisfactorias de los estudiantes de universidad en dos entornos culturales diferentes. Los resultados mostraron que la autonomía, competencia y relación fueron consistentes entre las necesidades más importantes, junto con las necesidades de autoestima.

Estos métodos han sido útiles en diversos estudios para comprender las experiencias, comportamientos de los usuarios y conocer el impacto en el bienestar de las personas. Hassenzahl et al., (2010) estudiaron las experiencias positivas de los usuarios con las tecnologías basándose en el marco y el método de Sheldon et al., (2001) y encontraron una relación clara entre el cumplimiento de la necesidad y experiencias positivas, con estimulación, relación, competencia, y la popularidad como necesidades especialmente destacadas.

Usando métodos similares, Partala & Kallinen, (2011) encontraron que la autonomía, competencia y autoestima son las principales necesidades para crear experiencias de usuario satisfactorias en relación al uso de tecnologías.

En el contexto y conocimiento de la adopción tecnológica, por su parte, las necesidades psicológicas han sido estudiadas en pocas ocasiones. Roca & Gagné, (2008) encontraron que las necesidades de autonomía y competencia estaban significativamente relacionadas a los conceptos centrales de TAM; utilidad percibida y facilidad de uso percibida.

En el contexto del e-learning, Sørrebø, Halvari, Gulli & Kristiansen, (2009) encontraron que la competencia tenía un papel importante en la predicción de la utilidad percibida, así como la motivación intrínseca de uso.

En cuanto a la experiencia del usuario con productos o sistemas de reciente desarrollo, Laugwitz, Held, & Schrepp, (2008) defienden que las dimensiones como el atractivo, la perspicacia, la eficiencia, la fiabilidad, la estimulación y la novedad pueden ser relevantes.

Las experiencias con productos y servicios interactivos dependen del contexto, son dinámicas y subjetivas. En el contexto industrial, Kaasinen et al., (2015) proponen objetivos para una mejor UX de forma que sirva como guía durante el diseño de sistemas industriales, logrando así la experiencia pretendida. Proponen cinco enfoques diferentes para adquirir los objetivos de la UX: Marca, Teoría, Empatía, Tecnología y Visión. Cada enfoque aporta un punto de vista diferente, apoyando así el carácter multidisciplinar de la UX. La Marca asegura que los objetivos de la UX están en línea con la promesa de marca de la compañía. La Teoría utiliza los conocimientos científicos disponibles sobre el comportamiento humano. El Enfoque de la empatía se centra en conocer a los usuarios reales y ponerse en su lugar. El enfoque de la Tecnología considera las nuevas tecnologías que se están introduciendo y su influencia positiva o negativa en la UX. Por último, el enfoque de la Visión se centra en la renovación, introduciendo nuevos tipos de experiencias para el usuario.

En el diseño de sistemas industriales, participan varios actores o "stakeholders" y deben compartir objetivos comunes de diseño. La utilización conjunta de los diferentes enfoques para establecer objetivos de la UX reúne los puntos de vista de diferentes interesados, comprometiéndolos así a establecer objetivos de UX y haciendo hincapié en la experiencia de los usuarios como una estrategia de diseño.

En este sentido, Roto et al., (2017) introducen un término más genérico: "metas de la experiencia" (Xgoals), con los cuales estudian cómo los Xgoals influyen en procesos

de diseño reales. Los objetivos de la UX deben guiar el diseño y el desarrollo de las soluciones e incluir objetivos como el sentido de control, el sentimiento de presencia, la confianza, el logro, la competencia y el sentimiento de ser parte de una comunidad (Roto et al., 2017).

2.7.5 LAS EMOCIONES Y EL DISEÑO DE INTERFAZ DE USUARIO

El análisis de Russell sobre los efectos de las emociones (Russell, 2003) permite señalar conexiones relevantes entre la experiencia del usuario y la interfaz. Otros autores también demostraron cómo las emociones positivas pueden mejorar la eficiencia de las tareas y el aprendizaje (Bonnardel & Moscardini, 2012; D'Mello & Graesser, 2012).

Tales conclusiones llevan a una justificación de los esfuerzos hacia un diseño de interfaz emocionalmente positivo. Por lo tanto, con el fin de favorecer las emociones positivas de los usuarios, parece necesario determinar primero si un diseño de interfaz puede influir en la activación y excitación de la respuesta emocional de los usuarios.

El proceso de evaluación que resulta de la emoción también es alimentado por factores internos, tales como la experiencia vivida por el usuario, sus antecedentes culturales, su preocupación y su participación en la tarea. Así, el diseño de la interfaz, es sólo una de las muchas variables que provocan las emociones de los usuarios finales.

Desmet (2003), propuso un modelo básico de emociones para producto de cuatro componentes: la (i) emoción es el resultado de un (ii) proceso de evaluación basado en (iii) la preocupación del usuario, y (iv) las características del producto. Para Desmet, la "preocupación" del usuario representa la utilidad percibida individualmente, siendo esta percepción potencialmente afectada por los rasgos de personalidad. Desmet añade que el componente del producto no siempre es el estímulo directo de la emoción; el producto también puede provocar pensamientos que son los estímulos reales. Este punto de vista está en línea con la propuesta de Norman (2004), que distingue tres niveles emocionales del afecto del usuario con respecto a un producto: visceral, conductual y reflexivo. El primer nivel visceral es un sentimiento visceral directo, mientras que los otros dos niveles se basan en la consideración del usuario sobre la interacción (nivel conductual), o un juicio más social/intelectual (nivel reflexivo).

Partiendo del trabajo de Desmet (2003), y si se extrapolan los conceptos al producto digital, Lockner & Bonnardel (2014) señalan que el componente "producto" se sustituye por el término "experiencia de interfaz de usuario". Para este cambio, los autores tuvieron en cuenta dos consideraciones principales. En primer lugar, la noción de "experiencia" se refiere a una interacción continua con el producto, lo que implica cambios constantes de los valores del sistema (Figura 26).

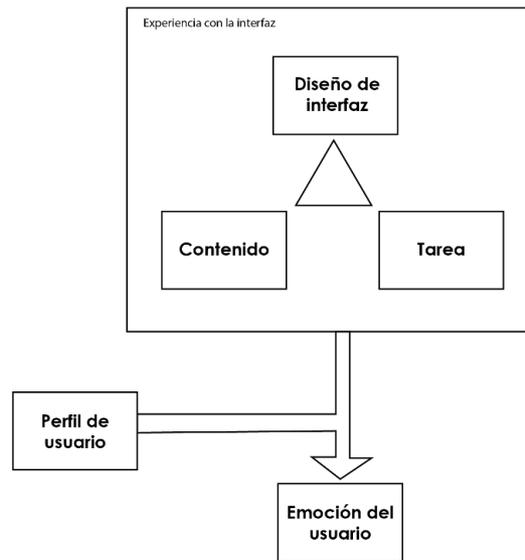


Figura 26: La emoción y el diseño de interfaz (Lockner & Bonnardel, 2014)

En segundo lugar, el estudio se centra en la "interfaz de usuario". Lockner y Bonnardel distinguen tres componentes específicos en pantallas, que definen la experiencia de la interfaz, cada uno de los cuales constituye un estímulo que provoca las emociones del usuario:

- El "Contenido" significa la información y los datos que deben comunicarse a los usuarios. Reúne elementos textuales (por ejemplo, títulos, artículos), elementos pictóricos (por ejemplo, fotografías, ilustraciones y diagramas), vídeos y música.
- El "Diseño de interfaz" representa las estrategias de diseño y presentación del contenido y las funcionalidades. Hace referencia al "diseño de la información" para las estrategias de visualización de la información, y al "diseño de la interacción" para las formas en que los usuarios interactúan con la interfaz, incluidas las funciones integradas.

- La "Tarea" se refiere al propósito de la interfaz que debe ser manejada por cualquier usuario (buscar, leer, comparar, calcular, organizar...). Realizar esta tarea puede inducir una emoción.

El "perfil del usuario" se refiere a las especificidades del usuario, en el momento de la interacción y reúne numerosas variables interindividuales, tales como antecedentes culturales, conocimientos previos relacionados con el contenido (marca, imágenes, artículos relacionados...), con los modos de interacción, la personalidad del usuario o el estado de ánimo entre otros.

La experiencia de la interfaz de usuario, considerada como un estímulo global externo, se evalúa a través del alcance interno del perfil del usuario, provocando la "emoción del usuario". Este proceso debe considerarse continuo e iterativo. La emoción del usuario contribuye a la evaluación de la experiencia general de la interfaz y puede afectar a las percepciones del contenido y de la tarea.

Basándose en las emociones y la teoría de la actividad, se pueden establecer diferentes funciones para una herramienta: las funciones instrumentales, psicológicas y comunicativas (Savioja & Norros, 2008). La función instrumental de la herramienta se refiere a la capacidad de la herramienta para producir el efecto deseado en el entorno. La función psicológica del instrumento se refiere a la posibilidad de control externo y desarrollo de comportamiento que efectúan los instrumentos. Por último, la función comunicativa destaca el papel de la herramienta como un medio. Estas funciones pueden evaluarse desde diferentes perspectivas: rendimiento, forma de actuar y experiencia de usuario (Figura 27).

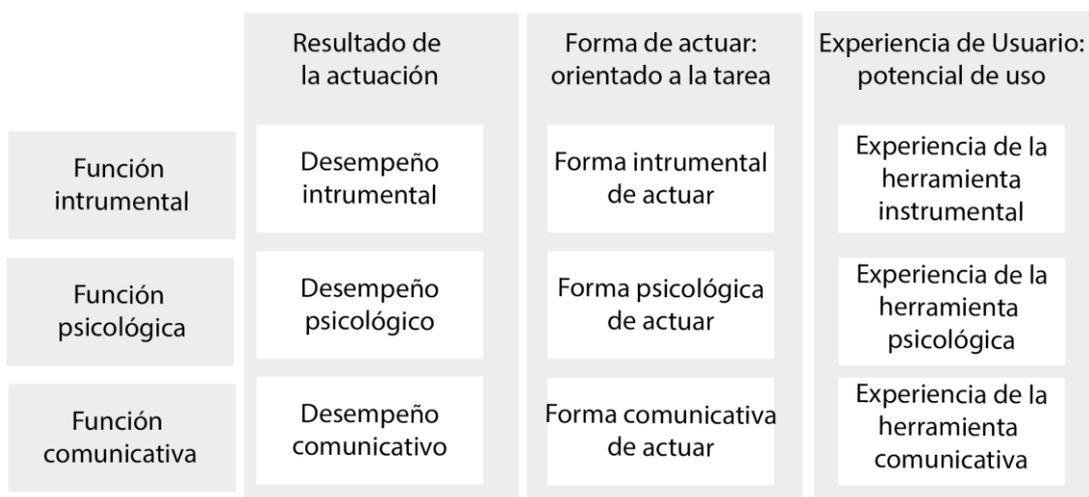


Figura 27: System usability framework (Savioja & Norros, 2008)

2.8 ANÁLISIS CRÍTICO DEL ESTADO DEL ARTE

En este apartado se realiza la revisión crítica del estado del arte. Para ello, primero se revisa la importancia de la incorporación de factores humanos y ergonómicos en las organizaciones, analizando la implicación de la adopción tecnológica en las organizaciones. Segundo, se discute sobre la necesidad de integrar el componente experiencial en los modelos de aceptación tecnológica y las teorías de ajuste, con el objetivo de ofrecer una visión conjunta y holística. Tras ello, se expone la importancia de la carga mental de trabajo y su implicación en el del desempeño individual. Después se muestran los marcos metodológicos de interés que se han identificado como interesantes para considerarlas en este trabajo de investigación. Finalmente, se exponen las variables objetivas consideradas interesantes para el análisis de la realización de las tareas, a fin de entender la interacción entre el usuario y la tarea y recoger la actividad mental de los operadores desde una visión holística.

2.8.1 EL EFECTO DE LA ADOPCIÓN TECNOLÓGICA EN LAS ORGANIZACIONES

Las nuevas soluciones tecnológicas que se integran en entornos laborales, tienen consecuencias sobre el bienestar en el trabajo, especialmente sobre la satisfacción en el trabajo, la motivación y el compromiso laboral. Además, conducen a beneficios para la empresa en cuanto a procesos optimizados, productividad y calidad, y ayudan a cambiar la imagen de la empresa para que ésta se convierta en un lugar de trabajo más deseado. Es por ello que la aceptación de las innovaciones tecnológicas tiene un papel muy importante en las compañías.

Vygotsky (1980) defiende que la relación entre el sujeto y el objetivo de trabajo está mediado por herramientas e instrumentos. En el contexto industrial, el sujeto es un trabajador, el objetivo es el control del proceso de fábrica y las tareas, y las herramientas principales son la automatización y el control de las interfaces de usuario en la fábrica. El propósito de una tecnología es proporcionar de forma intuitiva el objetivo de trabajo al empleado, de manera que permita una actuación adecuada en el proceso. Las exigencias de la tarea están determinadas por el contenido de la tarea, que a su vez depende de la información que debe tratar el sujeto, es decir, de la información a la que debe dar respuesta el individuo. En definitiva, si se quiere que la tecnología sea adoptada por el trabajador, es necesario proporcionar una tecnología o solución digital que permita a los usuarios realizar de forma ágil la tarea

encomendada. Para ello, debe existir el ajuste entre la tarea y la tecnología, esto es, un equilibrio entre las demandas de la tarea y las capacidades del sistema (Goodhue & Thompson, 1995),

En esta línea y siguiendo los factores humanos y ergonómicos en el diseño de interacción, se debe diseñar para las personas, creando productos y sistemas adecuados para los mismos y no viceversa. Además, Hollnagel & Woods (2005) defienden que no se debe considerar a la persona y la tecnología/sistema como dos elementos separados, con interacciones entre ellos, sino que se debe considerar la forma en que las personas trabajan en asociación con la tecnología como un "sistema cognitivo conjunto" (Figura 28).

Por otra parte, se ha demostrado que el bienestar de los empleados tiene impacto positivo en el rendimiento de la organización, y es por ello que es necesario mantener un enfoque centrado en las personas a la hora de diseñar sistemas digitales y tareas (Becker & Gerhart, 1996). En definitiva, una solución digital diseñado para satisfacer las necesidades de un operario, tomando en consideración aspectos de ergonomía y factores humanos, aumenta la eficacia y mejora el rendimiento.

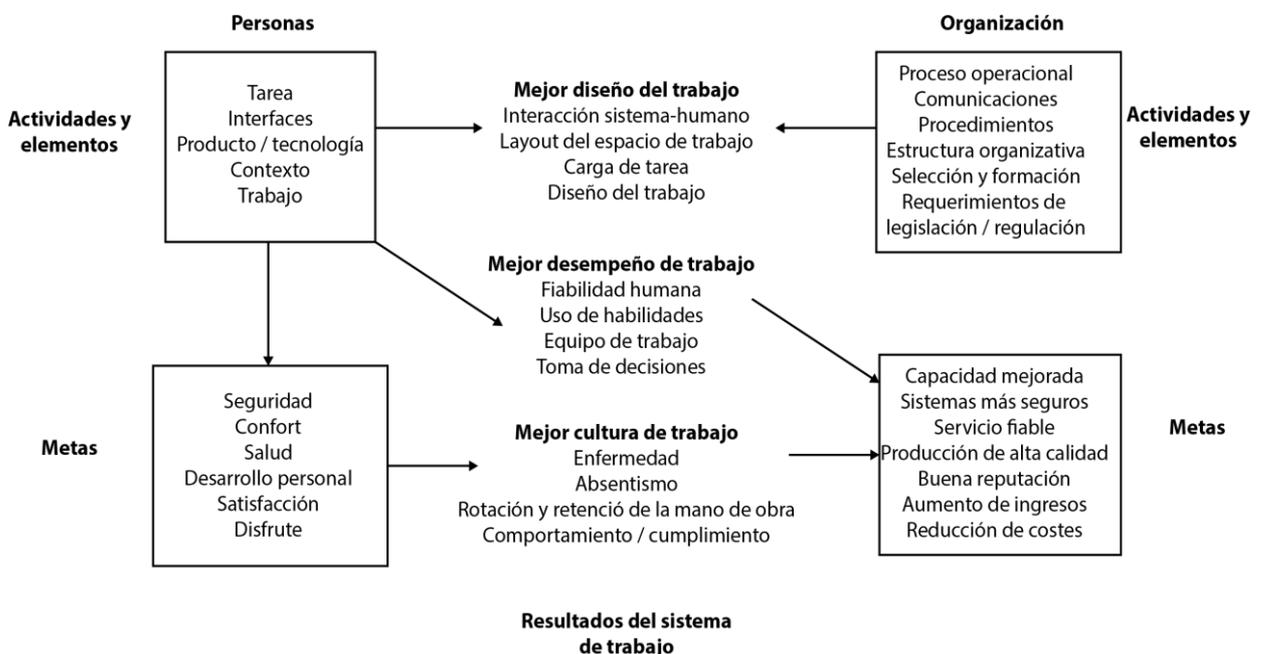


Figura 28: Objetivos de los factores ergonómico y humanos (Hollnagel & Woods, 2005)

Siguiendo este enfoque, Wilson & Sharples (2015) describen un marco basado en factores humanos y ergonómicos donde las personas y las organizaciones son los actores del sistema de trabajo (Figura 28). Los autores definen que las personas realizan tareas, interactuando con interfaces o tecnologías en un contexto determinado para realizar un trabajo. La organización a su vez, fija estas actividades mediante procesos operacionales, comunicaciones y procedimientos, sustentados por una estructura organizacional y legislaciones. Si las citadas actividades son diseñadas correctamente, centradas en las personas y teniendo en cuenta factores humanos y ergonómicos, el trabajo se diseñará mejor, esto es, las tareas encomendadas estarán en línea a las exigencias y a las características de las interfaces o tecnologías. De esta manera, existirá el ajuste entre la tarea y la tecnología en el escenario laboral y la apropiación tecnológica dará lugar.

Además, será posible cumplir con los objetivos personales de los operarios, consiguiendo mayor seguridad, confort, desarrollo personal, satisfacción y disfrute. A su vez, la empresa podrá mejorar su capacidad mediante la creación de sistemas más seguros, un servicio fiable, alta calidad de salida, buena reputación, incremento de los ingresos y reducción de costes. Todo ello se logrará mediante una mejora del rendimiento de los trabajadores y mejora de la cultura laboral.

Para cumplir con todo lo descrito, una de las líneas de investigación más interesantes en este sentido es el proceso de diseño con enfoque E/HF que proponen Wilson & Sharples (2015) (Figura 29).

Siguiendo el proceso de diseño con enfoque E/HF definido por Wilson & Sharples (2015), se podrán identificar las cuestiones críticas y definir el trabajo y las tareas de forma correcta. Así, se cumplirá con las necesidades de los operarios, alineando las tareas a sus capacidades. Además, tal y como se ha descrito, la empresa mejorará su rendimiento.

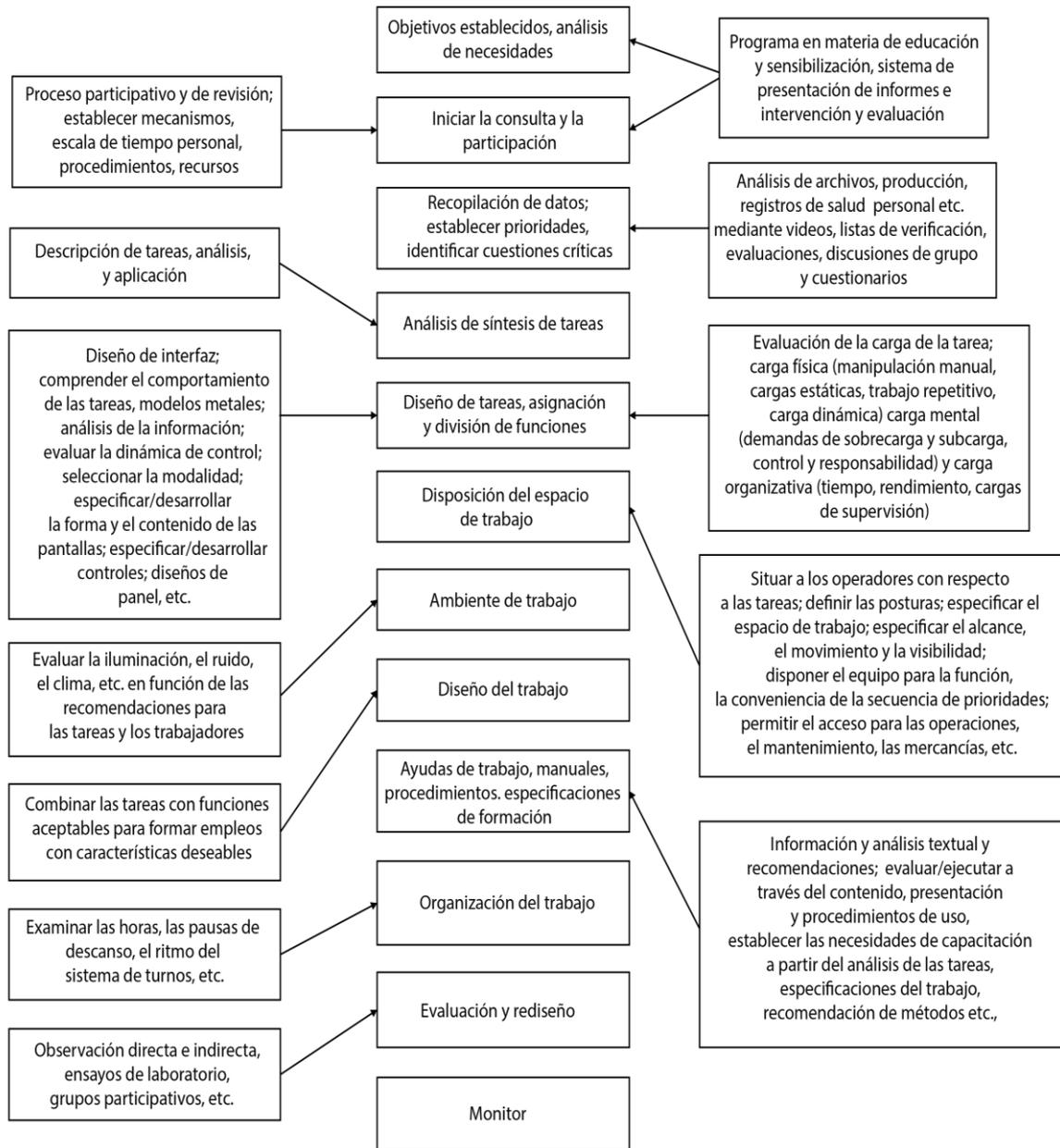


Figura 29: Proceso de diseño con enfoque E/HF (Wilson & Sharples, 2015)

2.8.2 EL COMPONENTE EXPERIENCIAL EN LOS MODELOS DE ACEPTACIÓN TECNOLÓGICA Y TEORÍAS DE AJUSTE

Para evaluar la actividad de los trabajadores desde un enfoque holístico, es necesario explorar la superposición entre los modelos de adopción tecnológica, teorías de ajuste y Experiencia de Usuario (UX).

Tal y como se ha expuesto, la implementación de la tecnología tiene una ventaja teórica en las organizaciones, pero la adopción de estas tecnologías por parte de los trabajadores es determinante. En este sentido, los desafíos y problemas asociados con la implementación y el desarrollo de la adopción de sistemas digitales ha llevado a la comunidad científica a tratar de comprender los factores relacionados con el tema, generando una extensa literatura (Jeyaraj, Rottman, & Lacity, 2006).

Los modelos de adopción tecnológica reúnen la información sobre las creencias de los usuarios como resultado de enfrentarse a una nueva tecnología en el marco social o de contexto en el que se encuentran. La percepción de cada usuario determinará que acepten o rechacen dichas tecnologías, decidiendo el uso o no uso de las innovaciones (en caso de poder decidir sobre su uso).

La investigación en SI e HCI ha proporcionado una gran cantidad de modelos sobre la TA como es por ejemplo el TAM (Davis, 1989). El TAM es uno de los modelos más utilizados por la comunidad científica propuestos para la adopción de las innovaciones tecnológicas por parte de los usuarios (Gwebu & Wang, 2011; Ha & Stoel, 2009; King & He, 2006; Schierz, Schilke, & Wirtz, 2010). TAM postula que la adopción y el uso individual de las tecnologías de la información están determinados por la utilidad percibida y la facilidad de uso percibida, centrándose en la predicción del comportamiento de uso del sistema, esto es, en la adopción.

Aun formando parte del proceso de adopción, son pocos los modelos de aceptación que integran constructos relacionados con el factor experiencial. Aunque el componente experiencial en la interacción humano-computadora y la adopción sean dos líneas de investigación raramente tratados simultáneamente, autores como Van der Heijden (Van der Heijden, 2004) integran el aspecto experiencial y hedónico a TAM mediante la variable "disfrute percibido".

La UX por su parte, es un campo de investigación en crecimiento, que en los últimos años ha ganado considerable interés. En general, se considera que el campo de investigación de la UX incluye todos los factores que afectan a la interacción del usuario durante la experiencia con un sistema o producto, de forma que ayudan a recoger las sensaciones que los usuarios experimentan al interactuar con entornos digitales (M. Hassenzahl, 2010; P. Wright, Wallace, & McCarthy, 2008)

Los estudios sobre la UX siguen en su mayoría la línea psicológica de pensamiento, en línea con el enfoque de "tecnología como experiencia" (McCarthy, John and Wright, 2004), que cambió el enfoque del diseño hacia aspectos subjetivos y emocionales de la interacción con los productos o servicios. La mayoría de los investigadores

coinciden en que la experiencia de usuario es; subjetiva, holística, situada y dinámica (M. Hassenzahl, 2010; Law, E. L. C., Roto, V., Hassenzahl, M., Vermeeren, A. P., & Kort, 2009).

Puede parecer que los modelos TA y UX tienen objetivos diferentes, ya que los modelos TA enfatizan en la predicción de uso y la UX busca entender la experiencia. De todas formas, la investigación TA/UX puede ayudar a mezclar los aspectos utilitarios y emocionales evocados por la tecnología, las cuales son reconocidas como importantes para el desempeño y el bienestar. Aun así, son limitados los estudios que analizan TA y UX en su conjunto, tal y como afirman Hornbæk & Hertzum (2017) en su revisión del componente experimental en HCI, donde analizan la superposición entre los modelos.

En esta línea, y a raíz de análisis del estado del arte, se concluye que las teorías y el conocimiento relacionado a los valores de ajuste, pueden también contribuir en el entendimiento de la adopción y evaluación del desempeño de tecnologías.

Las teorías de ajuste, como por el ejemplo el TTF (Goodhue & Thompson, 1995), intentan resolver las limitaciones del TAM (Baas & van Rekom, 2010; Kwon & Wen, 2010). Una de las limitaciones es su falta de enfoque en las tareas y la relación de las mismas con la evaluación de TIs y su impacto en el rendimiento, para entender así la utilización de TIs. El enfoque de Valor de ajuste ha sido utilizado por la comunidad científica para evaluar y explicar el éxito y el impacto de TIs en el desempeño individual (Goodhue & Thompson, 1995). Goodhue y Thompson (1995) postulan que las características de la tecnología, las características de las tareas y las características de los usuarios individuales explican el uso de TIs y su impacto en el desempeño individual, que se conceptúa como el cumplimiento de la cartera de actividades de una persona. Por tanto, un impacto positivo en el desempeño individual implica grados de mejora en su eficiencia y/o efectividad (Kositanurit, Ngwenyama, & Osei-Bryson, 2006).

Según D'Ambra, Wilson, & Akter (D'Ambra et al., 2013) los resultados empíricos sugieren que el valor de ajuste TTF explica el impacto de las TIs en el desempeño de las tareas individuales y posibilita la predicción del desempeño. Además, el valor de ajuste TTF puede informar sobre las asociaciones entre las características de las tareas y el uso de la tecnología desde varias perspectivas: mejor desempeño (Carswell, Thomas, Petre, Price, & Richards, 2000); percepciones alteradas de los usuarios (Wenger & Carlson, 1995) o mayor utilización de los usuarios (Kim &

Malhotra, 2005). En esta línea, Barki, Titah, & Boffo (2007) sostienen que la conexión entre las tareas y las tecnologías justifica el uso continuado de TIs.

Partiendo del contexto descrito, se considera oportuno trabajar simultáneamente las líneas de investigación de la adopción, Valor de ajuste y UX y así analizar el efecto del encaje entre tarea y tecnología en la percepción de uso, apropiación de la tecnología, satisfacción y desempeño.

De este modo, se ha realizado una revisión conjunta de modelos de adopción de tecnologías y las teorías de ajuste. Por un lado, los modelos sobre la adopción y aceptación de tecnologías investigan sobre las creencias y actitudes de los usuarios para predecir la utilización de los sistemas de información. Por otro lado, el enfoque de ajuste trata la relación entre las tareas y la tecnología de forma que tenga implicaciones positivas en la adopción de las mismas y por consiguiente en el desempeño individual. El objetivo de analizar conjuntamente las dos líneas de investigación ha sido la de contrastar la relación de los constructos que definen los modelos y analizar la integración de variables experimentales.

En la Tabla 13 se definen las teorías, junto a la autoría de las mismas y el número de citas que ha obtenido cada artículo de investigación donde se presentan dichas teorías.

Tabla 13: Modelos y teorías seleccionados

	Autor	Teoría	Descripción	Citaciones
MODELOS DE ADOPCIÓN DE TECNOLOGÍAS	E.M. Rogers, (1962)	IDT, Teoría de la difusión de la innovación	Explica el proceso de decisión de la innovación, dividida en etapas que conducen a la aceptación o rechazo de uso de la innovación	102.615
	Fishbein & Ajzen, (1975)	TRA – Teoría de la acción razonada	Utilizado para predecir el comportamiento de los individuos al realizar una tarea u objetivo voluntario predeterminado.	51450
	Ajzen, (1985)	TPB – Teoría de la conducta planificada	Evolución del TRA. Utilizado para evaluar la intención conductual de un individuo, basada en su	18178

			actitud, presión social y motivación intencional para actividades específicas o acciones voluntarias.	
Bandura, (1986)	SCT – Teoría Social Cognitiva	Explica el efecto de las características del individuo sobre su autoeficacia y la relación que existe con sus resultados en términos de aceptación tecnológica.	78650	
Davis, (1989)	TAM – Modelo de Aceptación de Tecnologías	Estudia la aceptación de una tecnología. Utilizado para predecir la aceptación de los sistemas de información por los usuarios en las organizaciones.	42454	
Thompson et al., (1991)	MPCU – Modelo de Utilización del PC	Trata de medir el grado de utilización de un PC por parte de un trabajador cuando el uso no es obligado por la organización, sino que depende del usuario.	3469	
Venkatesh & Davis, (2000) (Venkatesh & Davis, 2000)	TAM2 – Modelo de Aceptación de Tecnologías 2	Extensión del TAM, incorpora variables de índole social y agrega constructos relacionados con los procesos cognitivos instrumentales.	15513	
Venkatesh et al., (2003)	UTAUT – Teoría Unificada de la Aceptación del uso de la tecnología	Modelo integrador planteado con el objetivo de superar las limitaciones de los modelos anteriormente diseñados. Tiene como objetivo predecir el comportamiento de uso.	22820	

	Yayla, Ali Alper & Hu, (2007)	Modelo combinado TAM-TPB	Modelo que combina los modelos TAM y TPB. Permite predecir mejor la intención de uso de un sistema.	22
	Venkatesh & Bala, (2008)	TAM 3	Versión actualizada del TAM, enfocado en expandir los determinantes que afectan a la facilidad de uso percibida de una innovación.	3777
TEORÍAS DE AJUSTE	Goodhue & Thompson, (1995)	TTF – Teoría de Ajuste Tarea-Tecnología	Estudia cómo las tecnologías ayudan a las personas durante la ejecución de sus tareas. Se centra en la capacidad de una tecnología para apoyar una tarea.	1395
	Goodhue & Thompson (1995)	TPC- Modelo Cadena Desempeño de Tareas	El modelo teoriza sobre cómo las tecnologías conducen a impactos en el desempeño individual.	4760
	Goodhue & Thompson (1995)	TTF/TPC	Modelo combinado de las corrientes del modelo de uso y de ajuste.	4760
	Dishaw & Strong, (1999)	TAM/TTF	Combinación de los modelos TAM y TTF que tiene como objetivo combinar aspectos relacionados con la actitud/comportamiento de los usuarios y el enfoque racional.	10
	Goodhue et al., (2000)	Modelo de Ajuste Tarea-Tecnología, evaluaciones de usuario y rendimiento	Modelo que analiza las evaluaciones de los usuarios junto al enfoque de ajuste para predecir el rendimiento de los usuarios.	299

Tras ello, se ha procedido a recoger las variables que definen cada uno de los modelos y teorías (Tabla 14). Los constructos se han agrupado en categorías y las categorías en tipos. Las categorías son; (i) características relacionadas con el usuario, (ii) características relacionadas con el sistema, (iii) constructos relacionados con la influencia social y (iv) variables relacionadas con las condiciones facilitadoras. Además, las variables han sido agrupadas en tipos en base a su similitud. A continuación, se ha cruzado esta información con cada uno de los modelos y teorías, rellenando los campos que complementan cada uno de ellos (Tabla 14).

Tras completar la Tabla 14, se puede observar que la mayoría de los modelos relacionados con la adopción no consideran aspectos relacionados con la tecnología, tarea y desempeño individual. De todas formas, se contempla la tendencia de los modelos de ajuste a resolver las limitaciones de los modelos de adopción, ya que se puede apreciar con claridad que los constructos agrupados en relación al sistema, son cumplidos en su mayoría por las teorías de ajuste.

Por otra parte, la Tabla 14 muestra que el modelo TPC (Goodhue & Thompson, 1995), conjuga los principales modelos teóricos de análisis sobre Ajuste y Adopción y defiende que se deben analizar las características relacionadas con el individuo, la tarea y la tecnología. De esta forma, el modelo TPC consigue recoger en un modelo las debilidades de los modelos TAM y a su vez, integra los constructos que definen el modelo TTF (Tabla 14).

Asimismo, es importante contemplar el componente experimental durante las interacciones. Aunque los conceptos relacionados con las emociones hayan sido analizados en diversos estudios sobre la apropiación de la tecnología, en la Tabla 14 se observa la carencia de variables relacionadas con las emociones en los modelos de adopción y teorías de ajuste. La Tabla 14 muestra que el TAM3 integra variables relacionadas con las emociones tales como la percepción de disfrute y ansiedad, relacionando estos aspectos con la percepción de facilidad de uso (Venkatesh & Davis, 2000) pero no se relacionan dichas variables con las características de la tecnología y la tarea.

Tabla 14: Tabla comparativa de modelos y constructos

	Modelos de Adopción y Aceptación Tecnológica										Teoría de Ajuste				
	IDT - Teoría de la difusión de la innovación	TRA - Teoría de la acción razonada	TPB - Teoría de la conducta planificada	SCT - Teoría Social Cognitiva	MPCU - Modelo de Utilización del PC	TAM - Modelo de Aceptación de Tecnologías	TAM2 - Modelo de Aceptación de Tecnologías 2	Modelo de combinado TAM-TPB	UTAUT - Teoría Unificada de la Aceptación del Uso de la tecnología	TAM3	TTF - Teoría de Ajuste Tarea-Tecnología	TPC - Modelo Cadena de desempeño de Tareas	TAM/TTF	TTF / TPC	Modelo de Ajuste Tarea-Tecnología, evaluaciones de usuarios y rendimiento
CARACTERÍSTICAS RELACIONADAS CON EL INDIVIDUO	Usabilidad percibida														
	Actitud hacia el uso del sistema														
	Intención hacia el uso														
	Conducta de uso														
	Usabilidad objetiva														
	Ansiedad														
	Disfrute														
	Autoeficacia														
	Evaluación de usuario														
	Expectativa de rendimiento														
	Expectativa de esfuerzo														
	Experiencia previa														
	Conocimiento de usuario														
Características del usuario															
Demografía															
Contexto															
CARACTERÍSTICAS RELACIONADAS CON EL SISTEMA	Calidad de la salida														
	Nivel de Ajuste														
	Características de la tarea														
	Características de la tecnología														
INFLUENCIA SOCIAL	Impacto en el rendimiento														
	Norma subjetiva														
	Imagen														
	Voluntariedad														
	Norma social														
	Influencia de otros														
CONDICIONES FACILITADORAS	Relevancia en el trabajo														
	Demostrabilidad de resultados														
	Control percibido														
	Acceso a la comunidad														
Condiciones facilitadoras															

Tras la revisión llevada a cabo, no se evidencian estudios que superpongan los enfoques de adopción, ajuste y la UX. Aun así, se considera necesario tomar este enfoque holístico. En el estudio de las experiencias humanas, la emoción se considera uno de los aspectos centrales y, en consecuencia, juega un papel central en la comprensión de las experiencias de los usuarios. La mayoría de las investigaciones científicas sobre el UX relacionan las emociones de los usuarios con sus acciones (Marc Hassenzahl et al., 2010). Por dicha razón se considera que el componente experiencial debe ser incluido de forma holística junto a los enfoques de adopción y ajuste. De este modo, en contraste con una visión instrumental orientada a tareas, la investigación UX permitirá recoger las cualidades hedónicas.

2.8.3 LA CARGA MENTAL DE TRABAJO Y LA EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO

Tras la revisión del estado del arte, se identifica que la carga mental de trabajo (MWL, *Mental workload*) se ha convertido en un tema crucial para la industria (Kum, Furusho, Duru, & Satir, 2007). En esencia, el MWL se puede definir como la cantidad de esfuerzo mental requerido para que un individuo realice una tarea particular (Gao, Wang, Song, Li, & Dong, 2013). Incluye no sólo el esfuerzo debido a las demandas cognitivas de las tareas, sino también por otros factores, como el estrés, la fatiga y el nivel de motivación (Xie & Salvendy, 2000).

El desempeño humano se puede ver afectado por un MWL demasiado alta o demasiado baja (Nachreiner, 1995) y se conoce que la optimización del MWL podría reducir los errores humanos, aumentar seguridad del sistema, y mejorar la satisfacción de los operadores (Moray, 2013).

Con el rápido desarrollo de la tecnología, los sistemas industriales sofisticados han evolucionado y los operadores reciben a menudo tareas y procedimientos operativos complejos con alta carga mental.

Al realizar una tarea, con el aumento de la carga de trabajo, se necesitan más recursos cognitivos por lo que disminuye la capacidad mental del operador. Cuando la carga de trabajo se vuelve excesiva, el rendimiento puede verse afectado y se pueden producir errores, que empiezan a ocurrir cuando el estrés temporal es excesivo, o la capacidad de memoria excede los límites. Además, a largo plazo, las altas cargas de trabajo pueden afectar la salud y el bienestar de los operadores (Hancock & Desmond, 2000).

Las exigencias del trabajo están determinadas por factores como el contenido del trabajo, condiciones en las que se realiza la tarea, factores psicosociales y organizativos, y los factores relacionados con el diseño del puesto. Además, existen factores personales y condiciones extralaborales que pueden repercutir en la capacidad de respuesta de los usuarios.

Se considera que las exigencias de trabajo tienen una estrecha relación con los factores de apropiación tecnológica. En esta línea, el contenido del trabajo, el cual hace referencia a la información que el trabajador dispone en su puesto de trabajo, es un pilar determinante para que los usuarios entiendan los objetivos de la tarea y puedan realizarla con poca exigencia de trabajo. Además, las características de diseño del sistema o la interfaz con la que interactúan los operadores repercuten en la carga de trabajo mental y la consiguiente respuesta de los usuarios, los cuales influyen en la apropiación del sistema.

En un entorno de trabajo industrial, las señales que puede obtener un trabajador pueden ser muy diversas, tales como; órdenes de trabajo, indicadores de mejora, descarga y utilización de documentos, planos etc. Debido a la cantidad de recursos que se deben utilizar para realizar una tarea, el trabajador debe percibir e interpretar correctamente toda la información para realizar una acción determinada.

Por dicha razón, es necesario diseñar las tareas en función del contexto y los usuarios, aligerando al operario la cantidad de información a la que está sometida y con la que trabaja. Por un lado, se deben tratar la cantidad de señales que llegan al usuario, la velocidad, el número y la dispersión de las fuentes de las que proceden y la variabilidad de canales. Por otra parte, para que el análisis de dicha información por parte del usuario sea sencillo, es necesario tener en cuenta la complejidad de la información y los razonamientos que requiere, el grado de libertad en las acciones, las exigencias de atención y de memorización, el razonamiento lógico, la solución de problemas y la toma de decisiones. En lo que respecta a la respuesta, se debe considerar la rapidez de la respuesta que exige, la libertad en la toma de decisiones o el número de alternativas entre las que se ha de seleccionar la respuesta (García & del Hoyo Delgado, 2002).

El contenido del trabajo está en función, además, del factor tiempo, es decir, de la organización del tiempo de trabajo, cuya incidencia sobre la carga mental hay que considerar desde dos puntos de vista: (i) el tiempo de que se dispone para elaborar la respuesta y (ii) el tiempo durante el cual debe mantenerse la atención.

El tiempo de que se dispone para elaborar la respuesta está relacionado con el ritmo de trabajo. Si el operador debe de trabajar deprisa (por estar sometido al ritmo de una máquina, o seguir unos objetivos de producción), el esfuerzo para responder a la tarea es mayor que en el caso de que se pudiese actuar más despacio. El tiempo durante el cual debe mantenerse la atención está relacionado con la posibilidad de realizar pausas o de alternar con otros puestos cuando el trabajo exige un mantenimiento constante de la atención, siendo posible recuperar la fatiga.

En definitiva, el concepto de carga de tareas es útil para estudiar la dificultad percibida de la tarea o actividad dirigida a un objetivo, y el esfuerzo asociado, incluidos mental, físico y esfuerzo temporal invertido por el usuario. Estos conceptos han sido destacados como un desafío importante por Hornbæk (2006). Cualquier actividad con productos interactivos tendrá influencia en el usuario y desde el punto de vista del diseño, es aconsejable minimizar la carga de tareas extrañas para lograr una mejor usabilidad y experiencias de usuario más positivas (Hollender, N., Hofmann, C., Deneke, M., & Schmitz, 2010). De esta manera, disminuirá la cantidad de información y dificultad a la que estará sometido el usuario, reduciendo las exigencias de trabajo y la cantidad de carga cognitiva. Así, las tareas encomendadas podrán realizarse con mayor fluidez, mejorando la UX en general. Para que el procesamiento se lleve a cabo de una forma sencilla, se debe dar un adecuado ajuste entre el diseño de la tarea y el sistema. En esta línea, se considera interesante abordar el concepto de carga de tareas y el procesamiento de la información junto al diseño de la tarea y la interfaz de usuario.

Por otra parte, es interesante entender que además de los factores de trabajo como las características de la tarea y de la interfaz, los factores individuales y organizativos influyen en la realización de las tareas y el desempeño individual. Si se optimizan los factores que influyen en el rendimiento (PIF, *Performance Influencing Factors*) se reducirá la probabilidad de todo tipo de error humano. Partiendo de esta premisa, a continuación, se listan los factores que se deben tener en cuenta a la hora de diseñar tareas y sistemas con el objetivo de mejorar el rendimiento y los factores personales y organizativos que influyen en el rendimiento (Bion, Abrusci, & Hibbert, 2010) (Tabla 15).

Tabla 15: Factores para el diseño de tareas (Bion et al., 2010)

Factor	Consideraciones
Factores del trabajo	<ul style="list-style-type: none"> • Claridad de los signos, señales e instrucciones • Interfaz sistema/equipo (etiquetado, alarmas, prevención de errores/tolerancia) • Dificultad/complejidad de la tarea • Tarea rutinaria o inusual • Atención dividida • Procedimientos inadecuados o inapropiados • Preparación para la tarea (por ejemplo, permisos, evaluación de riesgos, verificación) • Tiempo disponible/requerido • Herramientas apropiadas para la tarea • Comunicación, con colegas, supervisión, contratista, otros • Entorno de trabajo (ruido, calor, espacio, iluminación, ventilación)
Factores personales	<ul style="list-style-type: none"> • Capacidad y condición física • Fatiga (aguda por una situación temporal o crónica) • Estrés/moral • Sobrecarga y subcarga de trabajo • Competencia para hacer frente a las circunstancias • Motivación frente a otras prioridades
Factores organizativos	<ul style="list-style-type: none"> • Presiones de trabajo, por ejemplo, producción vs. seguridad • Nivel y naturaleza de la supervisión / liderazgo • Comunicación • Niveles de dotación • Presión de grupo • Claridad de las funciones y responsabilidades • Consecuencias del incumplimiento de las normas y procedimientos • Eficacia del aprendizaje organizacional (aprender de las experiencias) • Cultura organizativa o de seguridad, por ejemplo, todo el mundo rompe las reglas.

2.8.4 MEDICIÓN DE LAS VARIABLE PRAGMÁTICAS

De acuerdo con la revisión de la literatura científica, para realizar un análisis de ejecución de tareas, la UX y su impacto en el desempeño desde un punto de vista holístico, es necesario integrar los puntos de vista de evaluadores expertos y las percepciones de los usuarios junto a la medición de variables pragmáticas.

Para analizar las variables pragmáticas desde el punto de vista del evaluador experto, es importante realizar un análisis minucioso de la tarea, describiendo las interacciones entre usuarios e interfaces de forma sistemática. Los evaluadores expertos deben evaluar el sistema con el que se actuará mediante estándares, guías o heurísticos que faciliten la evaluación de la interfaz de una forma objetiva. Además, para evaluar las tareas, existen diversas técnicas tal y como se ha descrito en el apartado 2.5. Uno de los métodos más interesantes para aplicar en el contexto de este trabajo de investigación es el GOMS (Card et al., 1983). Mediante este método, el evaluador experto recoge de forma analítica las acciones y procesos que debe seguir el usuario. Además, se identifica , el modelo de nivel de pulsación KLM (Card et al., 1980) , que sirve para predecir el tiempo que un usuario empleará para la realización de una tarea y puede ser utilizado como modelo complementario. Estas mediciones del modelo KLM parten de unos valores experimentales que determinan mediciones concretas para la realización de actividades mentales y se consigue sumando el tiempo de pulsación de teclas y totalizando los tiempos de ejecución.

Desde el punto de vista del usuario, el principal conjunto de parámetros fisiológicos que se debe utilizar para medir la UX desde el punto de vista pragmático según Peruzzini et al. (2018) son: el ritmo cardíaco, la variabilidad del ritmo cardíaco, la frecuencia respiratoria, la dilatación de la pupila, la vista y los ojos (Peruzzini et al., 2018). Sin embargo, la tasa de respiración (BR) es también un buen indicador para la detección del estrés en conjunción con otras medidas fisiológicas (Labbé, Schmidt, Babin, & Pharr, 2007).

El rastreo ocular, la pupilometría y la electrooculografía están hoy en día ampliamente difundidos, debido al aumento del rendimiento de los rastreadores oculares como el Eye-tracker. Los parámetros más frecuentes son el gasómetro ocular (EG) y la dilatación de la pupila (D), que proporcionan información sobre la fuente de tensión y el estrés del individuo (Sharma & Gedeon, 2012). La mirada ocular y la dilatación de la pupila proporcionan información útil sobre la fuente de atención y el estrés del individuo. La carga de trabajo humana aumenta con el aumento de la latencia del parpadeo y, al contrario, disminuye con el aumento de la duración del parpadeo y la

variabilidad de la imagen (Marquart, Cabrall, & de Winter, 2015). En definitiva, la técnica de rastreo es un método poderoso para estudiar la carga de trabajo mental durante una actividad compleja.

Por otra parte, una de los dispositivos que permite conseguir una evaluación viable del estrés tanto físico como mental de manera objetiva midiendo la actividad cerebral es la Electroencefalografía (EEG) (Popovic, Stikic, Berka, Klyde, & Rosenthal, 2013).

Sin embargo, debido a su naturaleza compleja de la señal, se ha descubierto que el estrés subjetivo puede investigarse con mayor precisión mediante la medición combinada de múltiples parámetros, a fin de lograr una evaluación viable del estrés tanto físico como mental de manera objetiva (Popovic et al., 2013).

Tras la revisión realizada, se concluye que los factores que se muestran a continuación deberían ser analizados para la medición holística de la UX y su efecto en el desempeño individual en entornos industriales (Tabla 16).

Tabla 16: Mediciones de la UX y su efecto en el desempeño individual

El análisis de tareas y el diseño		
Cuestiones a analizar	Técnicas de evaluación	Medidas a evaluar
Análisis de tarea	Análisis de tareas jerárquicas, análisis de requisitos, análisis de tareas cognitivas, diagramas de secuencia, diagramas de flujo	Necesidades de personas y sistemas, datos para apoyar la predicción de las consecuencias del cambio de tareas
Análisis del diseño de interfaz	Directrices, heurísticos y estándares	Definición de prioridades, informes cualitativos, cuestiones críticas, análisis de errores
Medición de trabajo y ejecución de tareas	Estudio del tiempo requerido y el análisis de actividad	Tiempo, estándares, secuencia de tareas y frecuencia
Evaluación del rendimiento de los usuarios y del sistema		
Cuestiones a analizar	Técnicas de evaluación	Medidas a evaluar

Análisis del sistema de trabajo	Análisis cognitivo del trabajo, checklists, evaluación de expertos	Tiempo, tiempo de reacción, estrategias y procesos
Evaluación de la usabilidad	Observación, análisis experto, análisis de la interacción, grabación de la pantalla	Exactitud, errores, opiniones, actitudes, satisfacción, carga de trabajo
Sistema de trabajo	Medidas ambientales, frecuencia de uso, registros de rendimiento, seguimiento ocular	Medición por comparación, normas, adecuación de requisitos y aceptabilidad
Informes de los participantes	Escalamiento, calificación, cuestionarios	Comodidad, aceptación, satisfacción
Medidas de rendimiento	Ritmo de trabajo, errores, análisis de las comunicaciones, comportamiento	Medición por comparación y normas
Análisis de fiabilidad humana	Modelización de errores, predicción de errores y clasificación de incidentes	Análisis de errores, probabilidad de error
Evaluación de las demandas y los efectos experimentados por la persona		
Cuestiones a analizar	Técnicas de evaluación	Medidas a evaluar
Respuesta física	Evaluación subjetiva, esfuerzo percibido, cambios físicos, rendimiento psicomotor	Calificaciones, cambio de rendimiento y medidas físicas
Respuesta psicológica	Respuesta subjetiva, medidas de rendimiento, estrategias de tareas	Carga experimentada, demanda percibida
Medición de la actitud laboral y de trabajo	Escalas de clasificación, entrevistas	Satisfacción, necesidades del usuario, características del trabajo

Para el desarrollo de este trabajo de investigación se partirá de este marco de mediciones de la UX a fin de entender la interacción entre el usuario y la tarea, y recoger la actividad mental de los operadores desde una visión holística.

2.8.5 MARCOS METODOLÓGICOS Y SU APLICACIÓN EN EL CONTEXTO INDUSTRIAL

Tras la revisión del estado del arte realizada, se han identificado diversos marcos metodológicos interesantes a abordar para el contexto de este trabajo de investigación. Se ha observado que, conjugando las ideas principales de los marcos identificados, se puede lograr la visión holística deseada para el nuevo modelo a diseñar. A continuación, se describe el punto diferencial de los mismos y se recoge su adecuación para la integración en la nueva propuesta a diseñar.

Tal y como se ha recogido en la revisión bibliográfica, la medición del rendimiento es tal vez la forma más tradicional de evaluar el éxito del diseño de una solución. A diferencia de otros modelos analizados, el marco de Usabilidad del Sistema (SU, *System usability framework*) (Savioja & Norros, 2008) es el único que integra esta perspectiva. Además, el marco SU amplía el enfoque integrando aspectos como la forma de actuar de los usuarios, el cual proporciona una perspectiva más amplia sobre el análisis de la actividad. A su vez, este mismo marco integra la dimensión de la UX, defendiendo que la experiencia de los trabajadores puede ofrecer información sobre la idoneidad de las soluciones propuestas, ya que ayuda a recoger los sentimientos y las emociones que la herramienta evoca al usuario.

La medición del rendimiento, el comportamiento de actuación y el análisis de la UX junto a las tres funciones de una solución (instrumental, psicológico y comunicativo) permiten que el SU denote la capacidad de la tecnología para cumplir con los requisitos para apoyar el cumplimiento de las exigencias de la tarea (Figura 30). De este modo, el nivel SU indica el resultado que tiene el uso de la tecnología en el rendimiento apropiado, la forma de actuar y la UX.

Aunque en el marco SU no se definan las variables a considerar para el diagnóstico de la capacidad de la tecnología para cumplir con los requisitos para apoyar el cumplimiento de las tareas, se considera interesante adoptar este enfoque como línea de investigación.

PERSPECTIVA DE LA ACTIVIDAD			
	Desempeño: resultado	Modo de actuar: orientado a la tarea	Experiencia de usuario: las posibilidades de utilización
Funciones instrumentales	<ul style="list-style-type: none"> - Compleción de tarea - Errores - Tiempo 	<ul style="list-style-type: none"> - Centrarse en lo relevante - Priorización efectiva 	<ul style="list-style-type: none"> - Sensación de una herramienta que funciona bien
Función psicológica	<ul style="list-style-type: none"> - Carga de trabajo - Interrupciones 	<ul style="list-style-type: none"> - Prácticas significativas y establecidas - Conceptualización de la situación del proceso 	<ul style="list-style-type: none"> - Sentimiento de corporación - Confianza en sí mismo
Función comunicativa	<ul style="list-style-type: none"> - Interacciones verbales - Interacciones espaciales 	<ul style="list-style-type: none"> - Prácticas de trabajo en equipo - Conciencia compartida 	<ul style="list-style-type: none"> - Confianza apropiada en la tecnología - Sentido de control

Figura 30: Marco de Usabilidad del Sistema (Savioja & Norros, 2008)

Por otra parte, otro modelo interesante es el modelo Componentes de la Experiencia de Usuario (CUE, *Components of User Experience*) (Thüring & Mahlke, 2007b). Este modelo es uno de los más completos y propone un marco metodológico interesante a seguir, ya que integra aspectos experienciales e instrumentales, conjugando aspectos relacionados con la UX y la evaluación del sistema. Aborda características de la persona, el sistema y la tarea como determinantes de las características de interacción, que determinan la UX (Figura 31).

El interés sobre este modelo se debe a que divide la experiencia de interacción en tres componentes: (i) cualidades instrumentales, (ii) cualidades no instrumentales y (iii) respuestas emocionales. Las cualidades instrumentales se refieren a la utilidad y facilidad de uso, y corresponden a atributos pragmáticos. Las cualidades no instrumentales se refieren a aspectos tales como la estética, y corresponden a atributos hedónicos en el modelo de Hassenzahl (2010). La categoría de cualidades no instrumentales generalmente incorpora aspectos que son importantes para los usuarios pero que no están conectados a su rendimiento con un sistema. Las reacciones emocionales en el modelo se caracterizan por componentes como sentimientos subjetivos, expresiones motoras y evaluaciones cognitivas (Mahlke & Minge, 2008).

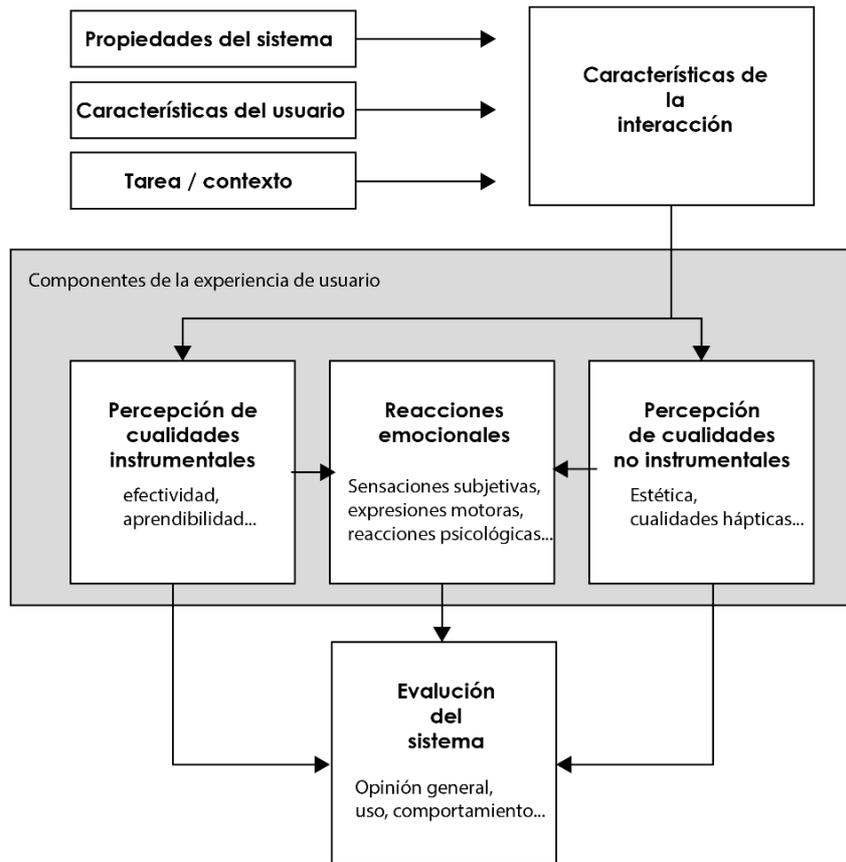


Figura 31: Componentes de la experiencia de usuario. Adaptado de (Thüring & Mahlke, 2007)

En comparación con el marco SU, el modelo CUE es un modelo más completo debido a que recoge factores experienciales y aspectos de ajuste. Aun siendo un modelo completo que está alineado con el objetivo que persigue esta tesis doctoral, no se centra en la evaluación del desempeño individual, factor relevante en el análisis de la apropiación de sistemas de trabajo. De todas formas, se considera un marco conceptual adecuado para incorporar conceptos sobre la aceptación, ajuste y la UX, y conseguir que los tres enfoques confluyan. Además, en línea con los tres enfoques clave, es necesario considerar variables pragmáticas que ayuden a medir el impacto que tiene el valor de ajuste TTF en el rendimiento individual, aunque a día de hoy no se ha identificado ningún modelo que cuantifique el desempeño individual.

Por otra parte, y debido a la nueva era industrial y la integración del concepto de Operario 4.0, recientemente han aflorado dos marcos de análisis de la UX en la Industria 4.0 que deben de ser considerados. Además de ser referencias actuales, se han identificado dos marcos específicos de análisis que conjugan factores

relacionados con la UX en el entorno industrial. Por una parte, el Marco general del Operario 4.0 (*The overall framework of the Operator 4.0*) (Peruzzini et al., 2018) y por otra parte el marco “*Factory2fit work well being*” (Kaasinen et al., 2018).

El Marco general del Operario 4.0 (Peruzzini et al., 2018) (Figura 32) define la interacción entre los operadores y sistemas digitales. Se conoce que, durante este proceso de interacción, la carga de trabajo mental se ve afectada por las características del sistema y del proceso, así como por factores externos (por ejemplo, la tipología de las tareas, la frecuencia y la duración, el tipo de información o datos que se han de procesar o tipo de dispositivos e instrumentos de apoyo). Los trabajadores producen una experiencia subjetiva dependiendo del entorno, las habilidades y características individuales, las características de la tarea, etc.

Este modelo integra el aspecto experiencial, defendiendo que, tras la interacción, las personas generan una respuesta de tres capas (conductual, cognitiva y afectiva/emocional). Aunque las respuestas de interacción son difíciles de detectar y analizar, podrían ser investigados y objetivados mediante la vigilancia de la respuesta fisiológica humana con las tecnologías y equipamiento disponibles para el desarrollo de esta tesis doctoral.

El interés por este marco se debe a la importancia de la vigilancia de la respuesta fisiológica humana en el contexto industria. Este conocimiento permitirá comprender la carga de trabajo de los usuarios para aprovechar la interoperabilidad y la cooperación con los sistemas inteligentes y optimizar los procesos. Por ejemplo, podría ayudar a definir qué, cuándo y cómo debe proporcionarse la información, o cómo se puede optimizar la secuencia de tareas o características del espacio de trabajo (es decir, disponibilidad de herramientas, iluminación o condiciones térmicas). A diferencia del marco SU y el modelo CUE, el Marco general del Operario 4.0 incide en los procesos de realización y entendimiento de las tareas encomendadas, siendo un pilar determinante para el diagnóstico del éxito de la interfaz industrial en términos de desempeño individual.

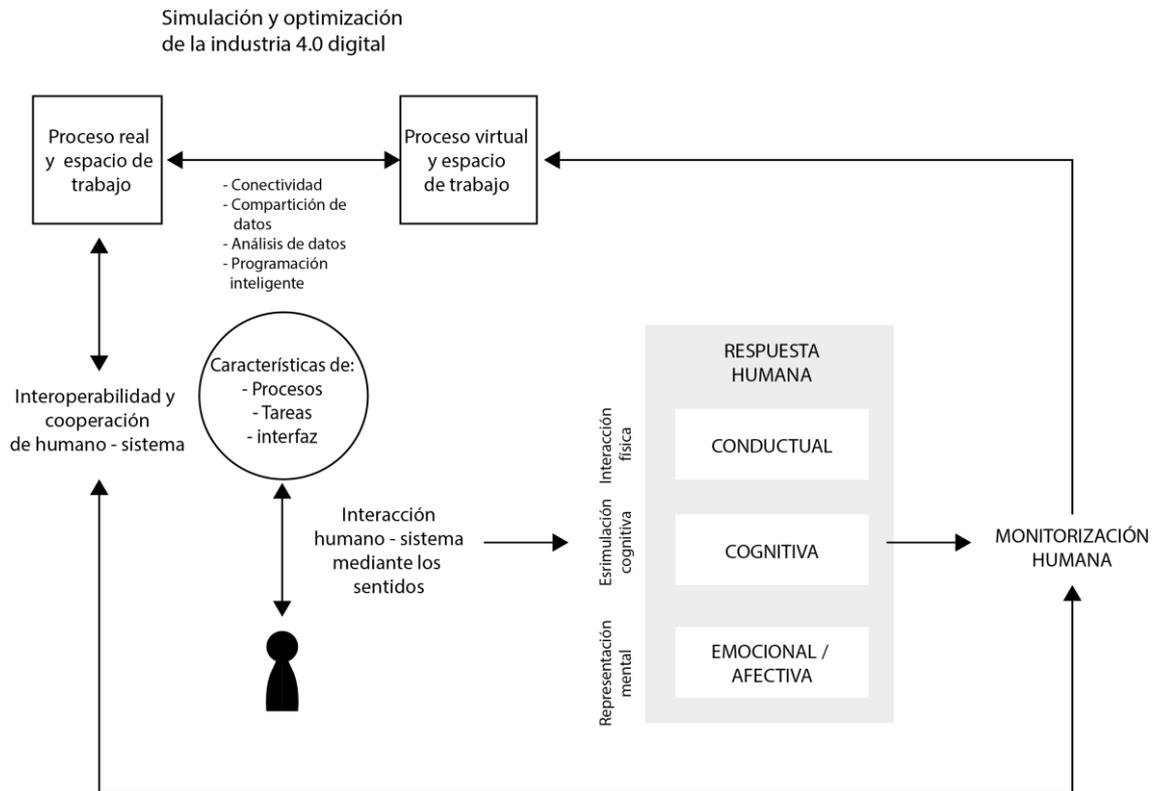


Figura 32: Marco general del operario 4.0 adaptado de Peruzzini et al., (2018)

Por su parte, el marco “Factory2fit work well being” (Kaasinen et al., 2018) sigue la relación causa-efecto. En el centro del modelo sitúan la UX, que está condicionada por la aceptación del usuario, la usabilidad, seguridad y cuestiones éticas. A su vez, se proponen diversos antecedentes a la experiencia de usuario, los cuales influyen en la experiencia vivida durante la interacción. El modelo lista las características de los usuarios, las características y objetivos de tareas, el propio sistema o herramienta, el contexto y la organización como factores que influyen la UX. Este enfoque se relaciona directamente con el interés y contexto de aplicación de esta tesis doctoral, recogiendo las ideas principales tratadas en la revisión bibliográfica y que serán el pilar para el desarrollo del nuevo modelo.

Además de ser un modelo de reciente creación, el marco “*Factory2Fit work well being*” traduce el resultado de la experiencia en bienestar en el trabajo, el cual se mide mediante la satisfacción, motivación y compromiso laboral. El modelo defiende que si las métricas mencionadas tienen una valoración positiva, los resultados en términos de beneficio para la compañía serán visibles; logrando procesos optimizados, mejorando la productividad y la calidad y convirtiendo el espacio de trabajo en un entorno donde los usuarios quieran trabajar (Figura 33). Debido a que el marco recoge

la experiencia global en un entorno industrial desde la perspectiva del bienestar en el trabajo y beneficios para la compañía, se considera necesario considerarlo para el desarrollo del nuevo modelo. Aun así, el marco recoge los constructos de una forma generalista, por lo que se quiere realizar una mejor definición de las variables que toman parte en este complejo proceso con el objetivo de conseguir un diagnóstico del éxito de las interfaces industriales.

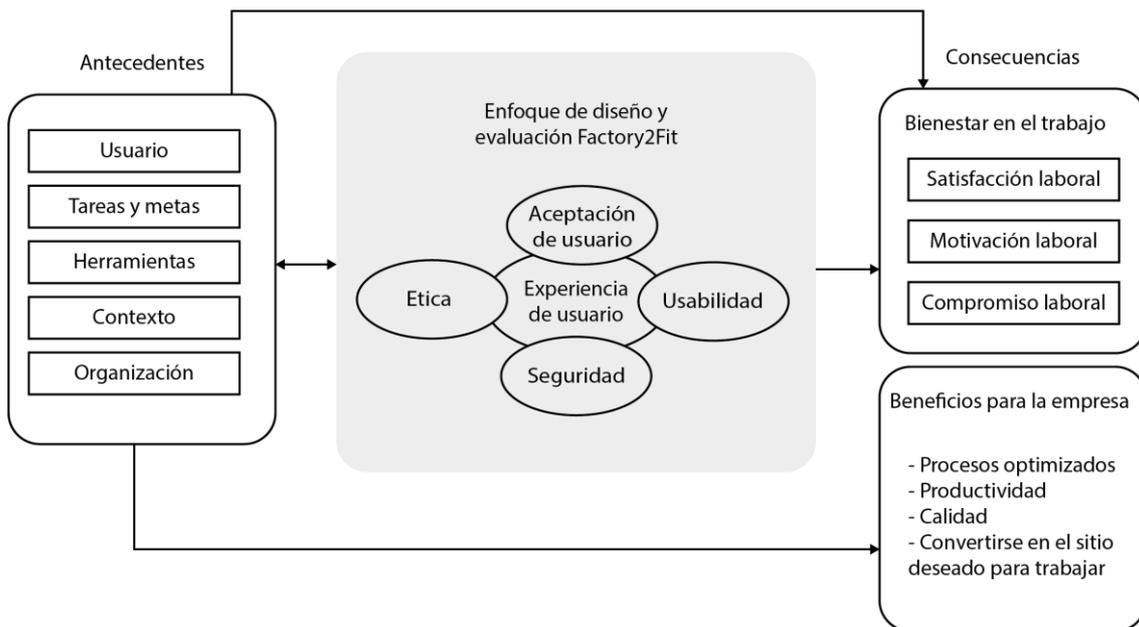


Figura 33: Factory2fit work well-being framework

Se conoce que la respuesta humana depende de factores objetivos (por ejemplo, la disposición del entorno, de la tarea o el tiempo disponible) y factores subjetivos (por ejemplo, las características, habilidades, experiencia y condición de estrés). Es por ello que los nuevos marcos y modelos específicos de reciente publicación recogen este planteamiento. En esta línea, tras la revisión general del estado del arte, se considera la continuidad de este enfoque como la línea más interesante y se manifiesta la necesidad de abordar conjuntamente el comportamiento cognitivo y emocional, como una combinación de posturas físicas, acciones, carga mental, impresiones y usabilidad, que afecta a su carga de trabajo físico y cognitivo contribuyendo al desempeño de la tarea, así como el estrés mental (Wilson, 2000) y la UX general.

Capítulo III

MODELO ITPX

3 MODELO ITPX

Con el objetivo de cumplimentar las oportunidades identificadas, se ha desarrollado un nuevo modelo para el diagnóstico de interfaces industriales, denominado modelo *Individual Task Performance Experience* (ITPX), que ayuda a predecir la aceptación de los usuarios en términos de la UX y el éxito durante la ejecución de tareas. Este nuevo modelo permite realizar un análisis holístico de la interacción entre el operario y la solución digital, de forma que integra el enfoque experiencial junto al enfoque pragmático. Se propone un procedimiento de análisis basado en tres bloques principales; (i) el valor de ajuste TTF que se mide mediante un listado de verificación diseñado específicamente para evaluar la relación entre las capacidades del sistema y las demandas de la tarea, el (ii) análisis cuantitativo de la ejecución de tareas, donde se recoge el tiempo de compleción de las actividades y la cantidad de errores cometidos por los operarios, y finalmente, se recoge (iii) la percepción de uso de los operarios, integrando la visión experiencial al nuevo modelo. La integración de estos tres enfoques es el punto diferencial respecto a los modelos existentes. En este tercer capítulo se describe el modelo *Individual Task Performance Experience* (ITPX), exponiendo en primer lugar la base teórica para su desarrollo y recogiendo a continuación la descripción detallada del modelo.

3.1 BASE TEÓRICA DEL MODELO ITPX

La creación del modelo ITPX se ha basado en diferentes modelos existentes, de forma que se ha podido diseñar un modelo holístico que considera aspectos tanto pragmáticos como experienciales. Los modelos considerados para el nuevo diseño han sido los siguientes; TAM (Davis, 1989), TTF (Goodhue et al., 1995), TPC (Goodhue et al., 1995), CUE (Thüring & Mahlke, 2007a) y el marco Factory2Fit work well being (Kaasinen et al., 2018). Además, se han tenido en cuenta los enfoques del marco SU (Savioja & Norros, 2013) y el marco general del Operario 4.0 (Peruzzini et al., 2018). La Figura 34 recoge de forma esquematizada la fusión de todos los modelos y la relación de los constructos que componen los modelos.

Para integrar el concepto de la apropiación tecnológica, el modelo ITPX se ha basado en el modelo TAM diseñado por Davis (1989). La elección se ha debido a que es un modelo efectivo y altamente probado para predecir el uso de cualquier tecnología (Gefen, Karahanna, & Straub, 2003; King & He, 2006; Mathieson, 1991; Venkatesh & Davis, 2000; Vijayasarathy, 2004). Además, se conoce que el modelo TAM tiene gran

posibilidad de ser ampliado mediante la introducción o modificación de diversos constructos (King & He, 2006), siendo una característica necesaria debido a que conjugará con otros conceptos y modelos.

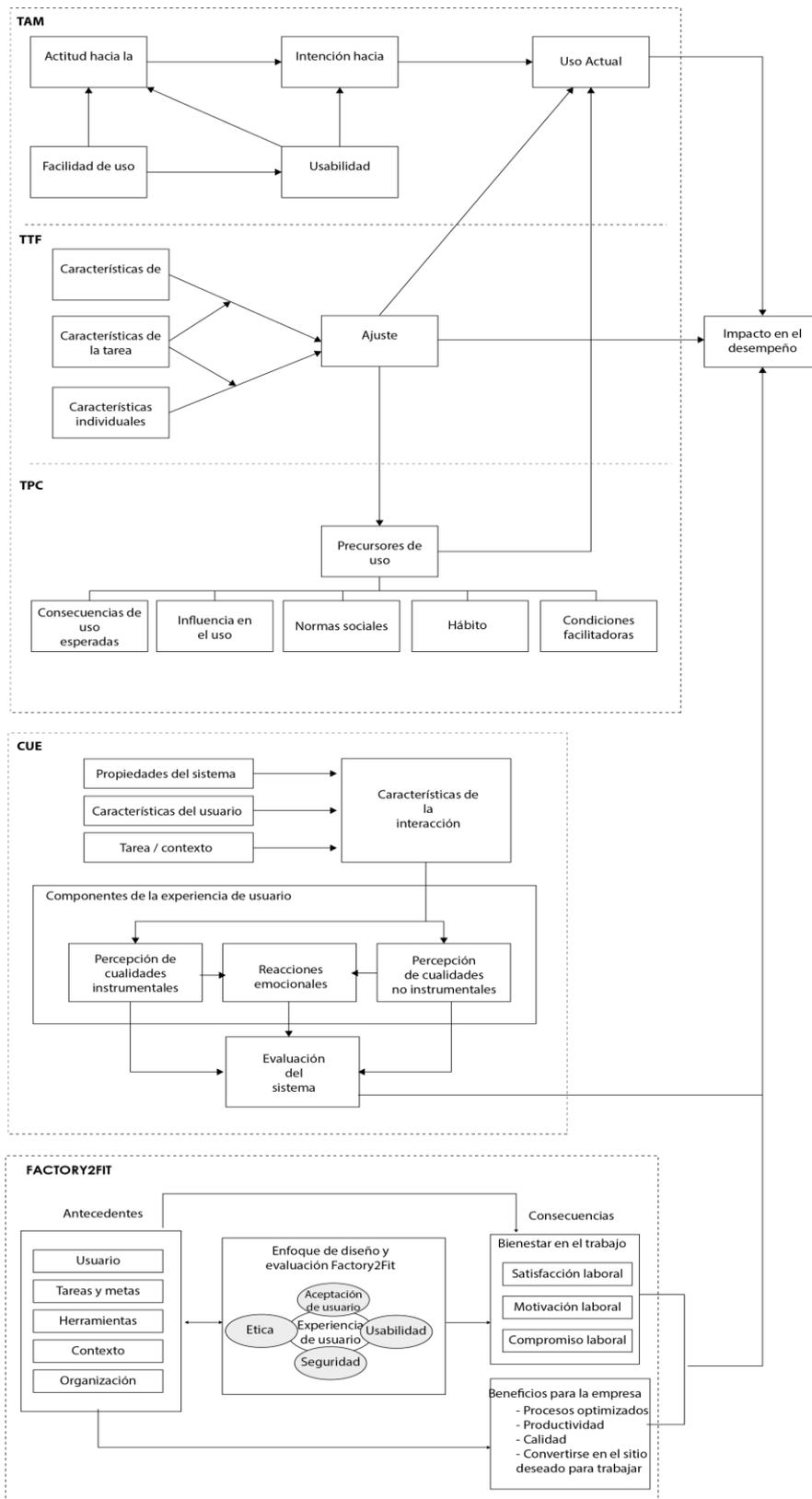


Figura 34: Base teórica del modelo ITPX

Por otra parte, se conoce que es más probable que las tecnologías tengan un impacto positivo en el desempeño del individuo cuando las capacidades de la tecnología complementan las tareas que el usuario debe realizar (Goodhue & Thompson, 1995). Por dicha razón, se ha considerado necesario integrar la métrica del valor de ajuste TTF. En esta línea, el modelo TPC (Goodhue & Thompson, 1995) muestra que además de las características de la tarea y la tecnología, las características del individuo influyen en el nivel de ajuste y las mismas conducen a efectos en el desempeño a nivel individual. La elección de los citados modelos se debe a la robustez de los mismo y por conjugar los principales modelos teóricos de análisis sobre el Ajuste y ejecución de tareas. Asimismo, otra de las ventajas de aplicar los modelos TTF y TPC es que podría servir como una herramienta de diagnóstico, permitiendo identificar problemas durante la ejecución de tareas.

Tal y como se ha identificado tras la revisión de la literatura, la UX es vital para analizar la interacción entre usuarios y sistemas. Además, es razonable incluir factores relacionados con la adopción de la tecnología y la UX en un modelo integral para facilitar la predicción de los resultados (Aranyi & Schaik, 2016). Es por ello que se ha decidido integrar la corriente de investigación UX en el modelo ITPX, ya que proporcionará un enfoque holístico, considerando las emociones de los usuarios y analizando el impacto que los mismos tienen en el proceso de aprendizaje y la toma de decisiones durante la ejecución de tareas, así como en la motivación de los usuarios y por consiguiente en las interacciones satisfactorias y el desempeño individual. Para ello, se considera que el modelo CUE (Thüring & Mahlke, 2007a) se adecua a las necesidades del nuevo modelo ITPX, ya que integra aspectos relacionados con la UX y evaluación del sistema. El modelo CUE considera cualidades instrumentales y no instrumentales, así como las respuestas emocionales de los usuarios, esto es, analiza atributos pragmáticos y hedónicos, las cuales consideramos que deben de ser integradas en el nuevo modelo. A su vez, el modelo CUE tiene un elevado nivel de congruencia con el modelo TPC y es por ello que se considerarán los factores definidos en este modelo para dotar de una visión holística al nuevo modelo ITPX.

Además, tomando en consideración que el modelo ITPX servirá para predecir el efecto de la ejecución de tareas en el desempeño individual en un contexto industrial, se considera oportuno seguir la línea establecida por Kaasinen et al., (2018) con su marco "Factory2fit work well being". Este marco metodológico, además de integrar las características de interacción definidas por el modelo CUE, integra aspectos organizativos y contextuales, los cuales son determinantes para el estudio de la

ejecución de tareas en un contexto industrial. Por otra parte, integra aspectos como la apropiación de la tecnología y la seguridad que se consideran necesarios para evaluar tecnologías de uso diario. Además, proyecta el bienestar en el trabajo como la consecuencia de la interacción o realización de actividades, de igual forma que se recoge en el modelo CUE. Aun así, el marco "*Factory2Fit work well being*", simplifica las reacciones emocionales a tres factores; la satisfacción en el trabajo, la motivación y el compromiso. Por último, el marco traduce la resolución de la interacción en beneficios para la compañía mediante; procesos optimizados, la productividad, la calidad y la percepción de ser un sitio deseado para trabajar. Por todo ello y debido al enfoque industrial que recibe el marco de Kaasinen et al., (2018) se considera un modelo interesante a considerar para la creación del modelo ITPX.

3.2 DESCRIPCIÓN DEL MODELO ITPX

El nuevo modelo, denominado ITPX (Figura 35) es un modelo para predecir y/o evaluar el éxito de una interfaz industrial. Asimismo, permitirá diagnosticar el desempeño individual que augure un impacto positivo en la empresa industrial que incorpore una interfaz industrial.

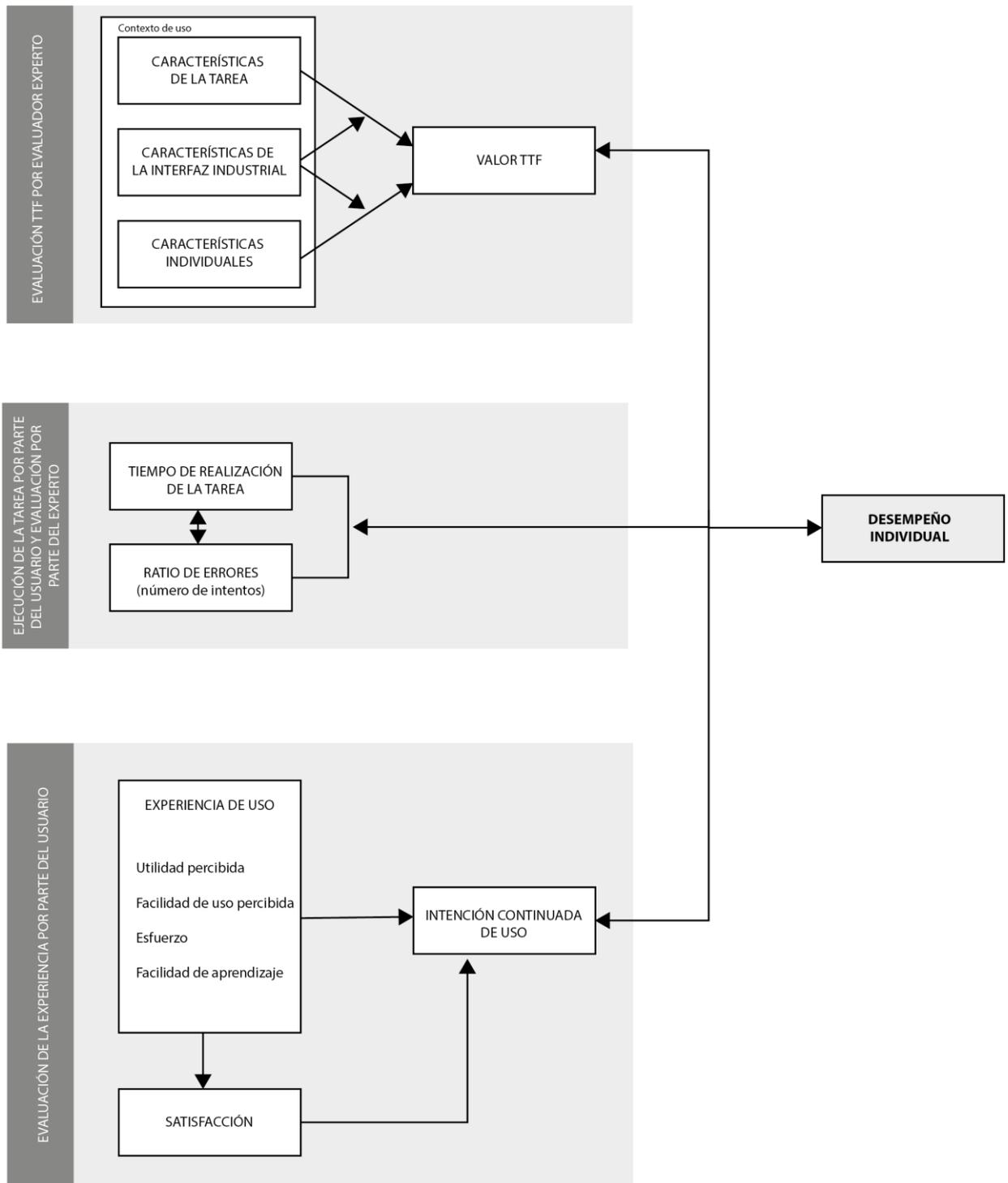


Figura 35: El modelo ITPX

El nuevo modelo sostiene la importancia de tener una visión holística para evaluar el desempeño individual. Para ello, el modelo ITPX evalúa el proceso de ejecución de tareas en una interfaz industrial desde tres perspectivas; (i) la evaluación del valor de ajuste (TTF) por parte de un evaluador experto, (ii) la evaluación de la UX en términos de intención continuada de uso y la satisfacción personal, recogido mediante un cuestionario a rellenar por los participante, y por último (iii) la evaluación de la ejecución de tarea mediante variables pragmáticas, medidas por factores de tiempo y el ratio de errores durante la ejecución de la tarea por parte del individuo, datos que son recogidos durante la ejecución de la tarea mediante la observación por un evaluador experto.

A continuación, se describen en detalle cada uno de los apartados que componen el nuevo modelo ITPX.

3.2.1 CARACTERÍSTICAS QUE DEFINEN EL VALOR DE AJUSTE TTF

En el nuevo modelo ITPX, se considera que el constructo de valor de ajuste TTF, se mide mediante múltiples factores; (i) características de la tarea, (ii) características del sistema (interfaz industrial) y (iii) características individuales que a su vez son influenciados por (iv) el contexto de uso (Figura 36). La medición del valor de ajuste TTF se realiza mediante un evaluador experto. A continuación, se desglosan uno por uno los factores que componen el valor de ajuste TTF, describiendo las variables que componen cada constructo.

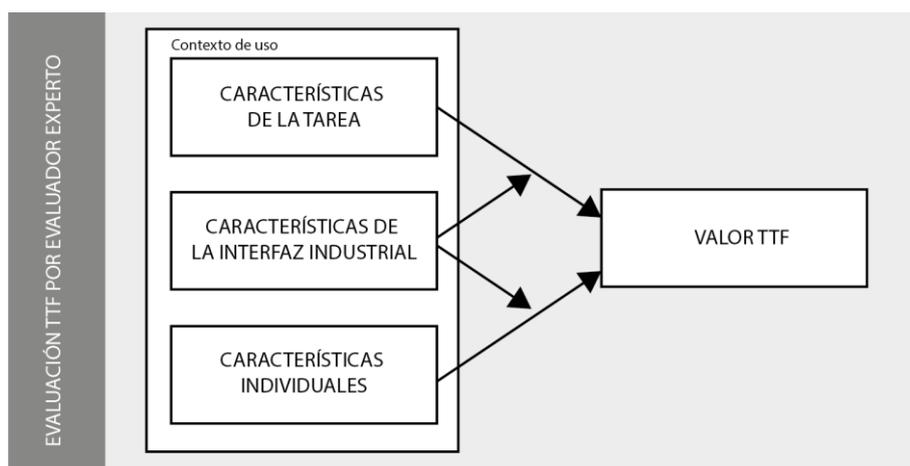


Figura 36: Características que definen el valor de ajuste TTF

3.2.1.1 Características de la tarea

Las características de la tarea se han definido partiendo del trabajo de Hoehle (2011) y Staples & Seddon (2004) y se listan a continuación: (i) importancia de la tarea (ii) cotidianidad de la tarea, relacionado con la frecuencia que el individuo realiza esa serie de tareas, (iii) complejidad de la tarea, atribuida a la exactitud que exige la tarea en particular y que a su vez se relaciona con la percepción del usuario sobre el esfuerzo que le ha exigido la tarea, (iv) interdependencia, (v) la criticidad del tiempo. (vi) compatibilidad con el trabajo a realizar (vii) facilidad de ejecución (factor que en el modelo ITPX se relaciona con la facilidad de aprendizaje percibida por los usuarios tras la interacción) y por último (viii) calidad de la información.

3.2.1.2 Características de la interfaz industrial

Para la definición de las características de la interfaz industrial, se han analizado diversos enfoques sobre la usabilidad y el diseño de interfaces y en base al trabajo de Shneiderman & Plaisant (2003), el modelo ITPX recoge que las interfaces deben proporcionar (i) secuencias de tareas estandarizadas (ii) la información debe ser mostrada de forma eficiente para una asimilación eficiente de la información por parte del usuario, (iii) ofrecer una carga mínima de memoria para el usuario (iv) mantener la compatibilidad de la visualización de datos con la entrada de los mismos (v) ofrecer coherencia en las operaciones de entrada de datos (vi) y ofrecer acciones mínimas para entrada de datos por parte del usuario (vii) junto a la flexibilidad para el control de modificaciones en los campos de entrada de datos.

3.2.1.3 Características individuales

En lo que respecta a las características individuales, y partiendo del trabajo de Arhippainen & Tähti, (2003); Marc Hassenzahl & Tractinsky, (2006) y Zimmermann, (2008) se han observado que la predisposición, la actitud, la capacidad, la habilidad, el conocimiento, la experiencia previa, las necesidades del usuario, las motivaciones, las expectativas, la autonomía y el título profesional son factores que impactan durante la interacción con un sistema. Además, tal y como se recoge en el apartado 2.10.3, existen factores personales que afectan en la carga mental de trabajo y por consiguiente en el proceso de ejecución de la tarea. Algunos de los factores personales son la capacidad y condición física, la fatiga, el estrés, la sobrecarga y subcarga de trabajo, la competencia para hacer frente a las circunstancias y la motivación frente a otras prioridades. De este modo, de las variables listadas, el modelo ITPX tiene en cuenta (i) la habilidad de los individuos con TICs, (ii) la

experiencia previa o conocimiento previo a cerca de interfaces industriales y por último, (iii) el título profesional de los individuos.

3.2.1.4 Contexto de uso

Es interesante entender que además de factores relacionados con la tarea, la interfaz industrial y las características personales, el contexto de uso puede influir en la realización de las tareas y el desempeño individual. Algunos de los factores que pueden influir durante la consecución de actividades en un entorno industrial, se encuentran el ruido, calor, espacio, iluminación o ventilación del espacio de trabajo. Además, existen factores organizativos tales como presiones de trabajo influenciados por el ritmo de la producción, la comunicación, la presión de grupo o la cultura organizativa o de seguridad existente en el entorno.

3.2.1.5 Valor de ajuste TTF y su medición mediante el listado de verificación

Para medir el Valor de ajuste TTF, se ha realizado una lista de verificación o “*Checklist*” que deberá rellenarlo un experto en evaluación de interfaces. Para el desarrollo del listado de verificación se ha partido del trabajo publicado por Lasa, et. al (2018) sobre la Evaluación Heurística de interfaces digitales con una perspectiva orientada a la UX. El listado de verificación se ha adaptado en función de los factores que determinan las características de la tarea, el individuo y la interfaz industrial, y las funcionalidades genéricas de una interfaz industrial (Gestión de ficheros, Introducción de parámetros y Ejecución). A continuación, se muestra un ejemplo de los ítems del listado de verificación por agrupación:

Gestión de ficheros

Esta categoría recoge aspectos relacionados con la gestión de los ficheros utilizados en las soluciones digitales, tales como piezas, herramientas u operaciones. La categoría de “gestión de ficheros” está formada por 20 aspectos. La Tabla 17 recoge una muestra de los ítems a evaluar.

Tabla 17: Ejemplo de algunos aspectos a evaluar en el listado de verificación en términos de gestión de ficheros

Gestión de ficheros
La interfaz contiene un buscador preciso

La disposición visual es adecuada y ayuda a identificar comandos - La barra de herramientas debe estar ubicada en la misma parte de la interfaz, manteniendo la consistencia en cada una de las secciones como (p. ej. en piezas, herramientas, operaciones, etc.)

La información está organizada jerárquicamente, de lo general a lo específico y las listas ordenadas alfabéticamente, facilitando la encontrabilidad de datos

Introducción de parámetros

La agrupación de “introducción de parámetros” recoge aspectos relacionados con la introducción de datos y parámetros para la ejecución de las piezas. Contiene 35 aspectos. La Tabla 18 recoge un ejemplo de algunos aspectos a evaluar.

Tabla 18: Ejemplo de algunos aspectos a evaluar en el listado de verificación en términos de introducción de parámetros

Introducción de parámetros
Los campos de entrada de datos contienen etiquetas
Los campos de entrada de datos y cajas de diálogo contienen valores por defecto cuando corresponde
La interfaz dispone de teclas y funciones más utilizadas en posiciones accesibles

Ejecución

Esta categoría recoge aspectos relacionados con la información del estado de la ejecución de la máquina y contiene 21 aspectos. La Tabla 19 recoge una muestra de los aspectos evaluados.

Tabla 19: Ejemplo de algunos aspectos a evaluar sobre la ejecución de piezas

Ejecución
El sistema ofrece información guiada para ejecutar la tarea
La barra de progreso ofrece información sobre los tiempos de ejecución y el tiempo restante a la finalización de la pieza
Los usuarios pueden cancelar operaciones en progreso

Para que el evaluador experto pueda obtener un valor de Ajuste TTF de un software determinado, necesita cumplimentar cada uno de los puntos del listado de verificación. Esta investigación sostiene que el valor de ajuste TTF influye en las diversas dimensiones de la experiencia de interacción. Por dicha razón, es importante que el evaluador realice este examen antes de comenzar cualquier experimentación.

El listado de verificación completo se recoge en los anexos (Apartado 6.1).

3.2.2 EJECUCIÓN DE LA TAREA

Para dotar al nuevo modelo ITPX de una visión objetiva sobre la ejecución de la tarea, se ha partido del método GOMS (Boring, Ulrich, & Rasmussen, 2018) que proporciona una descripción de nivel de tarea en actividades humanas que corresponden a las probabilidades de error humano y al tiempo de la tarea.

Por ello, en el nuevo modelo se integrarán las variables de (i) tiempo de realización de tareas y (ii) el ratio de errores durante la ejecución de la tarea, siendo valores que serán recogidas mediante un evaluador experto (Figura 37).

Durante las experimentaciones, el evaluador experto recogerá las acciones realizadas por el usuario en cada una de las tareas y se medirán los tiempos de ejecución y los errores realizados por el mismo en comparación a la descripción de la tarea obtenida tras la utilización del método GOMS.

Asimismo, se propone el uso de equipamientos como el Eye-tracker para recoger el registro de la actividad ocular y el EEG para recoger la actividad cerebral.

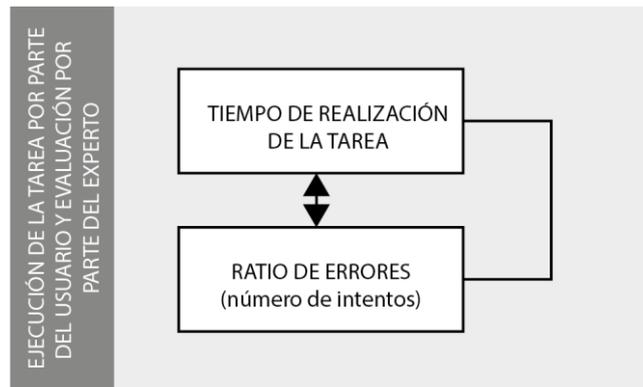


Figura 37: Ejecución de la tarea en el modelo ITPX

3.2.2.1 OBSERVACIÓN Y APLICACIÓN DEL MÉTODO GOMS PARA LA OBTENCIÓN DE LOS VALORES PRAGMÁTICOS

El método GOMS (Boring et al., 2018) es un método analítico que proporciona una descripción de nivel de tarea en actividades humanas que corresponden a las probabilidades de error humano y al tiempo de la tarea.

Partiendo del trabajo de Boring et al., (2018), se ha realizado una adaptación que recoge los (i) operadores (Tabla 20) (ii) el método donde se secuencian los pasos a realizar para la ejecución de cada tarea, (iii) el nivel de errores asociado a cada acción, (iv) el número de intentos que ha realizado el usuario para la ejecución de cada tarea, lo cual se traduce como la variable del ratio de errores, (v) el tiempo previsto para la ejecución de tareas tomando en cuenta los tiempos establecidos en el método KLM (Card et al., 1980) para cada pulsación y tiempo de espera, y por último (vi) el tiempo real que el usuario ha necesitado para completar las tareas. Esta adaptación se recoge a modo de plantilla que lo cumplimentará el evaluador experto, recreando el método a utilizar para la ejecución de la tarea antes de comenzar la experimentación (Tabla 21).

Tabla 20: Operadores GOMS (Card et al., 1983)

Nombre del operador	Descripción
Af	Realizar las acciones físicas requeridas en los elementos de control
Af	Realizar las acciones físicas requeridas en el campo de

	entrada de datos
Cc	Buscar la información requerida en los elementos de control
Cf	Buscar la información requerida en el campo de entrada de datos
Rc	Obtener la información requerida en los elementos de control
Rf	Obtener la información requerida en los campos
Ip	Producir instrucciones verbales o escritas
Ir	Recibir instrucciones verbales o escritas
Ss	Selección o ajuste de valores en los elementos de control
Sf	Seleccionar o fijar un valor en el campo de entrada de datos
Dp	Tomar una decisión basada en los procedimientos
Dw	Tomar una decisión aunque el sistema no lo ofrezca
W	Espera

Tabla 21: Método para el análisis de ejecución de tareas adaptado de GOMS

Ejecuta el programa MillingProgram NC y simúlalo		FAGOR CNC				
OPERATOR NAME	DESCRIPTION	METHOD FOR GOAL Editar Parámetros y exportar máquina	TASK LEVEL ERRORS	NUMBER OF TRIALS	EXPECTED TIME (s)	TASK COMPLETION TIME (s)
Ac	Performing required physical actions on the control boards					
Af	Performing required physical actions in the field					
Cc	Looking for required information on the control boards	Step 2. Buscar menú "logo Fagor" (Gesture) Step 4. Buscar "modos" (Gesture) Step 6. Buscar "Edición simulación" (Gesture) Step 8. Buscar "gráficos" (Gesture) Step 10. Buscar "start simulation" (Gesture)	TLE - C2		0'9 0'9 0'9 0'9 0'9	
Cf	Looking for required information in the field					
Rc	Obtaining required information on the control boards					
Rf	Obtaining required information in the field					
Ip	Producing verbal or written instructions					
Ir	Receiving verbal or written instructions					
Ss	Selecting or setting a value on the control boards	Step 3. Seleccionar icono menú (logo Fagor) (TAP) Step 5: Click modos (TAP) Step 7. Seleccionar "edición simulación" (TAP) Step 9. Seleccionar "gráficos" (TAP) Step 11. Seleccionar "start simulation" (TAP)	TLE - S2		0'2 0'2 0'2 0'2 0'2	
Sf	Selecting or setting a value in the field					
Dp	Making a decision based on procedures					
Dw	Making a decision without available					
W	Waiting	Step 1. Situarse en la interfaz (Initial act)	TLE - W1		5	
TOTALES					6,6 s	experto 7,6s

Esta evaluación, además de ofrecer los tiempos de ejecución de tareas y el ratio de errores que serán determinantes para obtener los valores de desempeño individual, pretende evaluar la facilidad de uso y aprendizaje, comprobando la adecuación del modelo mental del usuario al modelo conceptual de la aplicación.

Cabe destacar que los tiempos establecidos por el método GOMS son para pantallas controladas mediante cursores. De todas formas, gran parte de las interfaces industriales que se desarrollan a día de hoy son táctiles. Es por ello que se proponen las interacciones definidas por Rice & Lartigue, (2014) en el Modelo de Nivel Táctil (TLM, *Touch Level Model*) para establecer los tiempo estimados de ejecución. A continuación, se listan los gestos definidos para las interacciones táctiles:

- Distracción (**X**): operador multiplicativo que se aplica a otros operadores para modelar distracciones del mundo real.
- El Gesto (**G**) se conceptualizan como combinaciones especializadas de movimientos de los dedos en la pantalla del dispositivo.
- Pinch (**P**) se refiere al gesto común de dos dedos, simulando “minimizar” un elemento.
- Zoom (**Z**) la aplicación inversa a Pinch.
- Ley Inicial (**I**) Se refiere a las acciones que se deben realizar para comenzar la interacción; por ejemplo, el botón de inicio o contraseña.
- El operador de toque (**T**) se refiere a la acción física de tocar un área en el dispositivo de pantalla táctil para iniciar algún cambio o acción. Conocido como “*tap*”.
- Deslizar (**S**) generalmente un deslizamiento horizontal o vertical como cambiar la página en un libro. Universalmente conocido como “*scroll*” en pantallas controladas por ratón y “*slide*” para pantallas táctiles.
- Inclinación (**L**) utilizada para interactuar con dispositivos equipados con acelerómetros.
- Gesto de rotación (**O**) en el que dos o más dedos se colocan en la pantalla y luego se giran alrededor de un punto central.
- Arrastrar (**D**) similar a Deslizar, Arrastrar también implica tocar una ubicación en la pantalla y luego mover uno o más dedos en una dirección específica.

Como referencia para posibles experimentaciones, la Tabla 22 recoge los tiempos definidos por Ramkumar et al., (2017) fusionado con las gestualidades definidas en el modelo KLM de Rice & Lartigue, (2014).

Tabla 22: Operadores GOMS-ITPX

No.	Operador	Tiempo (s)
1	El Gesto (G)	0.9
2	Zooming (Z)	2
3	Panning	2
4	Clicks de ratón	0,2
5	Scroll	
	Espacio	0.8
	Normal	0.3
	Rápido	0.03

3.2.2.2 EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DURANTE LA EJECUCIÓN DE TAREAS MEDIANTE MÉTODOS FISIOLÓGICOS

Además de los métodos analíticos para la descripción de la tarea, es interesante analizar la fatiga mental durante la realización de actividades debido a que afecta al comportamiento de los usuarios y su desempeño. Una situación de carga mental inadecuada, produce fatiga mental en el trabajador, produciendo una serie de reacciones fisiológicas. Por dicho motivo, se cree conveniente hacer uso de dichas técnicas para recoger el comportamiento de las personas durante la realización de las tareas encomendadas. Existen varias técnicas e indicadores fisiológicos como; la frecuencia cardíaca, el registro de la actividad ocular mediante el Eye Tracker o el registro de la actividad cerebral mediante Electroencefalogramas (EEG). El modelo ITPX propone el uso del Eye Tracker y el EEG.

El Eye Tracker es una de las herramientas más utilizadas para la evaluación de usuario durante el transcurso de la interacción. Este dispositivo permite rastrear la mirada del usuario, recogiendo los puntos de la interfaz en los que el usuario ha fijado su mirada y el tiempo que ha estado en cada uno de ellos. De esta manera, se pueden rastrear los puntos en los que el usuario ha fijado su atención durante la ejecución de las tareas. Así, los resultados muestran dónde espera encontrar los elementos de la interfaz, de forma que se puede realizar un análisis conjunto con el método GOMS. La información que aporta el Eye Tracker es muy útil debido a que ofrece información cuantitativa sobre el comportamiento del usuario y, por otro lado, proyecta los resultados de una forma muy visual mediante mapas de calor y gráficos de mirada.

El EEG, por su parte, es una técnica de evaluación fisiológica que se emplea para estudiar el funcionamiento del sistema nervioso a través del registro de la actividad eléctrica del encéfalo, concretamente de la corteza cerebral. La actividad del cerebro se basa en la emisión y transmisión de impulsos electroquímicos, los cuales son registrados mediante el EEG. Además, se detecta el patrón de funcionamiento del encéfalo y la activación del cerebro ante un estímulo. Esto se debe a la serie de electrodos que tiene el EEG, los cuales son conectados al cuero cabelludo y con los cuales se registra la actividad neuronal y se detectan las zonas del cerebro que producen mayor actividad.

El EEG es una herramienta de investigación clínica procedente de la neurociencia que comenzó a utilizarse en medicina y psicología. Aun así, en los últimos años, el número de investigaciones enfocadas a la medición de emociones mediante el EEG ha aumentado, y se han empleado en varios estudios de evaluación de la experiencia de usuario (Meza-Kubo et.al., 2016).

El electroencefalógrafo permite medir la electricidad de las ondas, siendo posible identificar las respuestas emocionales de los usuarios frente a las interfaces a analizar con el software SennsLab (Bitbrain, 2019). Mediante la utilización de la tecnología EEG se recogen las siguientes métricas:

- Valencia: Grado de atracción experimentado durante la presencia de un estímulo o una situación.
- Atención: Este indicador mide la focalización de un participante cuando se le presenta un estímulo. Es decir, la utilización de los recursos cognitivos para la realización de una tarea o la visualización de un estímulo.
- Relevancia personal: Es un indicador del grado de implicación o conexión entre el participante y el estímulo o tarea.
- Memorización: Este indicador mide la intensidad de los procesos cognitivos relacionados con la formación de futuros recuerdos durante la presentación de un estímulo. Captura el grado de almacenamiento, codificación y retención en la memoria.

3.2.3 EXPERIENCIA DE USO

Con el modelo ITPX (Figura 35) se quiere recoger la percepción subjetiva individual y la reacción emocional de los usuarios durante la ejecución de tareas con interfaces industriales y el impacto que tienen estas consideraciones en el desempeño individual. Para ello, la experiencia de uso se define mediante la (i) Utilidad percibida (ii) Facilidad de uso percibida (iii) Esfuerzo y (iv) Facilidad de aprendizaje (Figura 38).

El nuevo modelo define relaciones entre la utilidad percibida, la facilidad de uso percibida y la facilidad de aprendizaje. La variable de “facilidad de aprendizaje” se establece en relación a la comprensión de uso y es uno de los precursores de la utilización. Asimismo, este constructo se relaciona también con la Utilidad y Facilidad de Uso Percibida y se considera que tiene efecto en el Esfuerzo.

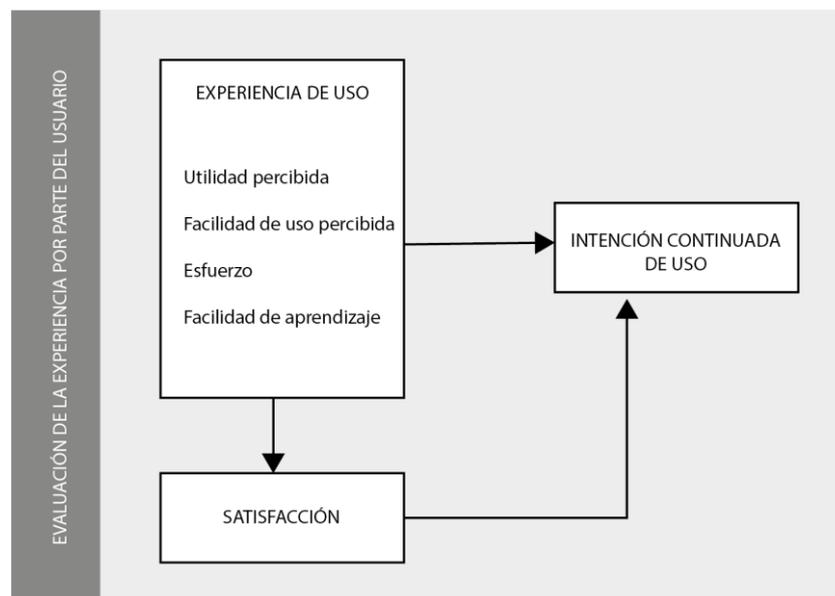


Figura 38: Experiencia de uso en el modelo ITPX

Asimismo, se asume que la Experiencia vivida por el individuo impacta en su Intención Continuada de uso y en su satisfacción, lo que provocará que el usuario quiera seguir utilizando o no el sistema.

En el nuevo modelo ITPX, la satisfacción se ha vinculado a las motivaciones definidas por Hassenzahl (2010), basadas en las 10 necesidades universales de Sheldon et al., (2001). Estas 10 necesidades consideran las experiencias positivas en su totalidad, pero se consideran irrelevantes en el caso de experiencias relacionadas durante la interacción con interfaces industriales. Por dicho motivo, al igual que proponen

Hassenzahl et al., (2013), en el modelo ITPX, las 10 necesidades se reducen a las siguientes: (i) autonomía, (ii) competencia, (iii) cercanía, (iv) seguridad y (v) estimulación. Estas necesidades universales (Sheldon et al., 2001) se describen de la siguiente forma:

- Autonomía: completar la tarea por sí mismos sin la ayuda de los demás
- Competencia: sentirse capaz de completar tareas complejas
- Cercanía: sentir cercanía con el sistema gracias a la comunicación amistosa y adaptada.
- Seguridad: sentirse en control de la situación
- Estimulación: sentir atracción y nuevas sensaciones al interactuar con el sistema

3.2.3.1 EVALUACIÓN DE LA UX MEDIANTE EL CUESTIONARIO USE

Para evaluar la interacción de los operarios con interfaces industriales mediante medidas subjetivas, se propone el cuestionario Utilidad, Satisfacción y Facilidad de Uso (USE, *Usefulness, satisfaction and Ease of Use*). El cuestionario diseñado por Lund (2001), se compone de 27 preguntas que se evalúan mediante la escala Likert de 7 puntos.

El cuestionario USE tiene como objetivo analizar y resumir la usabilidad de la interfaz gráfica en base a cuatro factores: Utilidad, Facilidad de Uso, Facilidad de Aprendizaje y Satisfacción, siendo los constructos que determinan la Intención Continuada de Uso en el nuevo modelo ITPX. El cuestionario se puede ver en los anexos (Apartado 6.2).

En las experimentaciones, el cuestionario USE se cumplimenta tras la realización de las actividades a realizar.

Capítulo IV

DESARROLLO Y VALIDACIÓN DEL MODELO ITPX

4 DESARROLLO Y VALIDACIÓN DEL MODELO ITPX

Para validar el modelo ITPX, se han realizado cinco experimentaciones con distintas soluciones digitales. En este capítulo se describe la metodología seguida para la realización de los casos de estudio y cada una de las experimentaciones ejecutadas para la validación del modelo ITPX. Tras ello, se recogen las conclusiones generales obtenidas de los casos de estudio y se finaliza presentando el indicador del desempeño individual desarrollado tras el análisis de resultados.

4.1 METODOLOGÍA

Se llevará a cabo un estudio del tipo empírico y cuantitativo con el objetivo de aplicar el nuevo modelo ITPX en cuatro interfaces industriales y una última interfaz no industrial para conocer la aplicabilidad del modelo ITPX en interfaces de tipo no industrial.

4.1.1 PROCESO A SEGUIR

Para ejecutar el testeo y recoger las puntuaciones y conclusiones del estudio, se ha tenido en consideración el trabajo de Federici et al., (2019). Se han seguido los siguientes nueve pasos:

1. Cálculo del Valor de ajuste TTF del software por parte del evaluador experto
2. Preparación de las tareas a ejecutar
3. Análisis de las tareas y estimación GOMS
4. Realización de un testeo piloto para encontrar posibles problemas y garantizar la fiabilidad de respuestas.
5. Identificación de la muestra
6. Preparación del laboratorio para la experimentación; espacio, material y equipamiento
7. Ejecución de la experimentación
8. Complimentación del cuestionario USE por parte de los participantes
9. Análisis de datos

El Valor de Ajuste TTF se mide a través del listado de verificación y es cumplimentado por un evaluador experto. Los ítems se agrupan en tres grupos (i) gestión de ficheros, (ii) introducción de parámetros y (iii) ejecución. El listado de verificación se puede ver en los anexos (Apartado 6.1).

Por su parte, el análisis de la tarea se realiza mediante el método adaptado GOMS (Boring et al., 2018), descomponiendo cada tarea definida en pasos secuenciales y estimando el tiempo de ejecución mediante el método KLM.

El caso de estudio está guiado por un facilitador y todas las acciones durante la realización del test se recogen mediante la observación. Las respuestas fisiológicas se recogen mediante el Eye Tracker (Tobiiipro, 2018) y el EEG (Bitbrain, 2019)(utilizado en el caso de estudio 4 - Innguma). Los valores que se miden son el (i) tiempo de ejecución de tareas y (ii) el ratio de errores durante las actividades realizadas.

La UX se mide a través del cuestionario Utilidad, Satisfacción y Facilidad de Uso (USE, *Usefulness, satisfaction and Ease of Use questionnaire*) (Lund, 2001)la cual se basa en la escala Likert de 7 puntos y lo cumplimenta el usuario tras la finalización de las tareas a realizar.

Además, se hace uso de la técnica *Think Aloud* (Nielsen, Clemmensen, & Yssing, 2002), donde los participantes comentan en alto sus percepciones sobre la interacción, siendo una técnica con la que se recogen muchas sensaciones y puntos de mejora para cada software analizado.

4.2 CASOS DE ESTUDIO

En este apartado se recogen las cinco experimentaciones llevadas a cabo con el objetivo de validar las hipótesis planteadas en el trabajo (Tabla 23). La descripción de todos los casos de estudio mantiene la misma estructura. Primero, se define la interfaz industrial que ha sido objeto de estudio, tras ello, se describen el contexto de evaluación, la muestra, el procedimiento y metodología que se han seguido para realizar los casos de estudio. Finalmente, se recogen los resultados y las conclusiones obtenidas de cada caso de estudio. Además, tras exponer las conclusiones generales obtenidas tras la realización de todas las experimentaciones, se muestra el ITPX indicador que se propone.

Tabla 23: Descripción de los casos de estudio

Número del caso de estudio	Software a evaluar	Muestra	Equipamiento utilizado
1	DoGrind y DoGrind 2.0	16	Eye Tracker
2	CNC Goiti	20	Eye Tracker
3	CNC Fagor Simulator 1.60	20	Eye Tracker
4	Innguma	10	Eye Tracker y EEG
5	CITyFIED	20	Eye Tracker

4.2.1 CASO DE ESTUDIO 1 - DOGRIND Y DOGRIND 2.0

El objetivo de este caso de estudio es identificar las implicaciones del valor de ajuste TTF en el tiempo de realización de tareas y la cantidad de errores y las variables de percepción de usuario. Para ello, se evalúan el software DoGrind (Danobatgroup S.Coop., 2012) y DoGrind 2.0, la nueva versión de DoGrind. Aunque las dos soluciones tengan las mismas funcionalidades, los atributos de la interfaz y las características de la tarea varían entre sí. De esta forma, se podrá identificar cuál de las dos versiones logra mejores puntuaciones en términos de tiempo y errores, valoraciones de los usuarios y desempeño.

Parcialmente, pero este primer caso de estudio pretende validar las Hipótesis 1, 2 y 3. Además, se quiere cumplir con los objetivos 1,2 y 3 junto a los sub-objetivos 1.1, 1.2, 1.3 y 3.1.

4.2.1.1 Software evaluado

El software DoGrind es una plataforma digital desarrollada por la empresa Danobatgroup S. Coop. Está diseñado para programar y ejecutar piezas en máquinas rectificadoras, a través de las cuales los operarios pueden controlar todo el proceso. La elección de este software se debe a la a) posibilidad de acceder a una gran variedad de recursos en la plataforma real y b) porque existe un prototipo (DoGrind 2.0) diseñado como mejora del software DoGrind tomando de base requisitos de Utilidad y Facilidad de Uso, requisitos para la facilitación del proceso de aprendizaje y una interfaz gráfica diseñada para que genere atracción hacia el sistema.

El software cuenta con las siguientes funcionalidades: Machine check, docs, servicio de asistencia, programado del trabajo, optimización de longevidad y calidad superficial de la herramienta.

A continuación, se muestran las dos interfaces industriales que han sido objeto de evaluación; DoGrind (Figura 39) y DoGrind 2.0 (Figura 40).

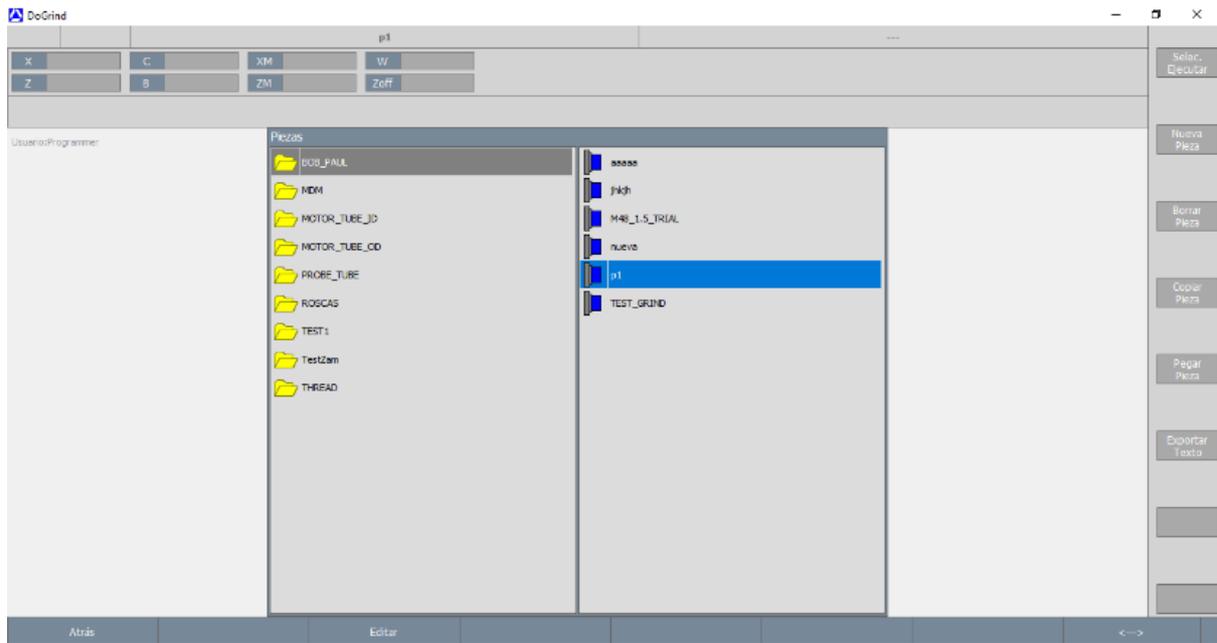


Figura 39: Interfaz gráfica del software DoGrind

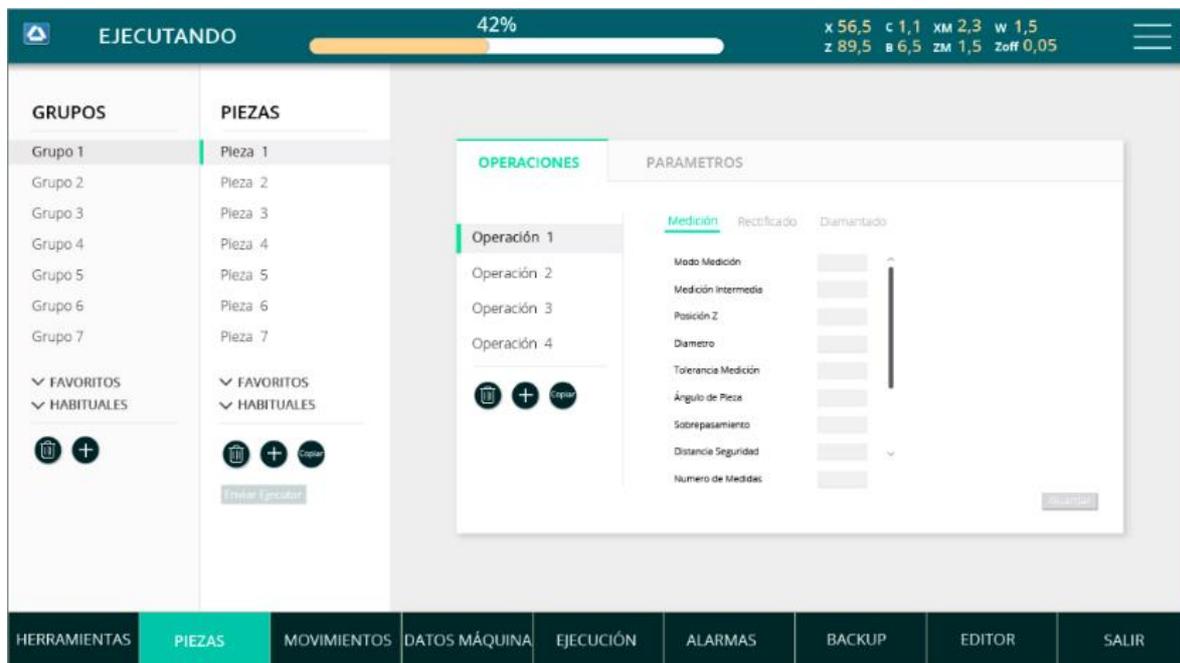


Figura 40: Interfaz gráfica del prototipo DoGrind 2.0

4.2.1.2 Contexto de evaluación

El estudio se ha llevado a cabo en el laboratorio de usabilidad ULAB de Mondragon Unibertsitatea. El laboratorio de usabilidad es un espacio acondicionado para permitir la observación con personas. Está conformada por dos ambientes (una sala para la realización de testeos y una sala de observación) separados mediante un vidrio de visión unilateral. El espacio cuenta con equipos de audio y de video para la grabación de los diferentes experimentos.

4.2.1.3 Muestra

Se han seleccionado 16 usuarios para la realización de los testeos. Debido a las investigaciones relacionadas con la percepción sobre usabilidad en diversos softwares, para la investigación a realizar, se ha considerado que los participantes serán indistintamente mujeres y hombres con una edad comprendida entre 20-35 años, con un uso habitual de TICs y sin experiencia previa con sistemas industriales similares. De esta manera, se quiere recoger la primera sensación producida por las soluciones, sin que los pensamientos y preferencias previas impacten en las respuestas. En todos los estudios, la participación ha sido voluntaria. Además, se ha contado con la ayuda de un evaluador experto para la compleción del listado de verificación.

4.2.1.4 Procedimiento y metodología

El procedimiento seguido para llevar a cabo el caso de estudio 1, ha sido el descrito en el apartado 4.1.1. Primero, se ha calculado el valor de ajuste TTF por parte del evaluador experto. Cabe destacar que en el caso de DoGrind 2.0, no todos los puntos del listado de verificación proceden, por lo que los resultados se han recogido en porcentajes. Tras ello, se han propuesto las tareas a ejecutar por los participantes y se ha realizado la estimación GOMS teniendo en cuenta los tiempos establecidos por el método KLM, ya que los participantes han procedido a la consecución de las actividades en un dispositivo táctil. Tras realizar una primera prueba y garantizar la fiabilidad de la misma, se ha seleccionado la muestra y se ha procedido a comunicarles la propuesta de participación en el caso de estudio.

Por otra parte, se ha preparado el laboratorio ULAB con el material y equipamientos necesarios. En esta primera experimentación, la actividad se ha monitorizado mediante el Eye Tracker Tobii X2-30 (Tobiipro, 2018), de forma que se han podido recoger de forma más precisa los tiempos de ejecución y los errores realizados por

cada uno de los usuarios. Tras ello, se ha procedido a la ejecución de la experimentación.

La experimentación ha estado guiada por un facilitador, mientras que otra persona ha realizado las labores de observación. Los participantes han tenido que realizar las tareas de forma autónoma. Antes de comenzar con la ejecución de tareas, se ha descrito a cada participante el procedimiento del caso de estudio, dejando un minuto para interactuar con el software. Los participantes han procedido a la realización de las actividades, teniendo una hoja con la descripción de las tareas a realizar. Para que no existan resultados influenciados por los factores que los individuos adquieren durante las interacciones, 8 de los usuarios han realizado los testeos utilizando primero el software DoGrind, y la otra mitad han empezado a completar las actividades en el prototipo DoGrind 2.0. Finalmente, se han recogido las evaluaciones mediante el cuestionario USE para su posterior análisis junto al resto de resultados.

Para llevar a cabo el estudio, los usuarios han tenido que realizar la tarea de crear un nuevo grupo de piezas y una nueva pieza, añadir las operaciones a realizar y editar los parámetros y finalmente simular el envío a ejecución. A continuación, se desglosa la tarea (Tabla 24) que han ejecutado los usuarios paso a paso:

Tabla 24: Tarea definida para el software DoGrind y DoGrind 2.0

Tarea 1	
Subtarea 1	Crear un nuevo grupo de piezas, y guardarlo como: g1
Subtarea 2	Crear una nueva pieza, y guardarla como: p1
Subtarea 3	Añadir 3 operaciones: <ul style="list-style-type: none"> • Plongee con Oscilación • Vaivén Concavo-Convexo • ISO
Subtarea 4	Editar dentro de Plongee con Oscilación y Medición: <ul style="list-style-type: none"> • Medición Intermedia = 1

	<ul style="list-style-type: none"> • Ángulo de Pieza = 30 • Tolerancia Medición = 2,5
Subtarea 5	Editar dentro de Plongee con Oscilación y Diamantado: <ul style="list-style-type: none"> • Incremento X = 8 • Avance Frontal = 25 • Pasada Lado Izquierdo = 2
Subtarea 6	Editar dentro de Vaivén Concavo Convexo y Rectificado: <ul style="list-style-type: none"> • Diámetro Final = 3
Subtarea 7	Editar dentro de Parámetros y General: <ul style="list-style-type: none"> • Posición de Arrastre = 90
Subtarea 8	Editar dentro de Parámetros y Calibración MDM: <ul style="list-style-type: none"> • Diámetro = 5
Subtarea 9	Editar dentro de Parámetros y Calibración Medidores: <ul style="list-style-type: none"> • Calibración Touch = No
Subtarea 10	Enviar a ejecutar.

4.2.1.5 Resultados

En este apartado se recogen los resultados obtenidos del primer caso de estudio. Se han analizado los datos obtenidos de (i) la lista de verificación en términos del valor de Ajuste TTF, los resultados obtenidos de (ii) la observación realizada para analizar la ejecución de tareas mediante el método adaptado GOMS, y por último los resultados obtenidos del (iii) el cuestionario USE, cumplimentado por los usuarios.

Lista de verificación – análisis del valor TTF

Para determinar el Valor de ajuste TTF, se ha cumplimentado el listado de verificación para el software DoGrind y el DoGrind 2.0. Las afirmaciones se han agrupado en tres grupos (i) gestión de ficheros, (ii) introducción de parámetros y (iii) ejecución. Tras completar el listado de verificación, se ha obtenido que el software DoGrind cumple en un 21,62% el ajuste entre las características de la interfaz industrial y la tareas, mientras que Do2Grind cumple un 70,42 % de los requisitos establecidos.

Resultados pragmáticos

Observación y método adaptado GOMS– análisis de la ejecución de las tareas y el tiempo en completarlas

De las 160 tareas ejecutas por los usuarios, en el cómputo total, el 83,75% se realizan más rápido con el prototipo DoGrind 2.0 que con el software DoGrind. Si se analizan los resultados en función de cuál de las dos soluciones es utilizada con anterioridad, se nota una leve diferencia, aunque en los dos casos, el DoGrind 2.0 consigue mejores puntuaciones. Cuando DoGrind se utiliza antes que el DoGrind 2.0, son el 91,25% de las tareas las que se ejecutan de forma más rápida. Si en cambio, las tareas se ejecutan primeramente con DoGrind 2.0, el porcentaje se reduce a un 76,25% (Figura 41).

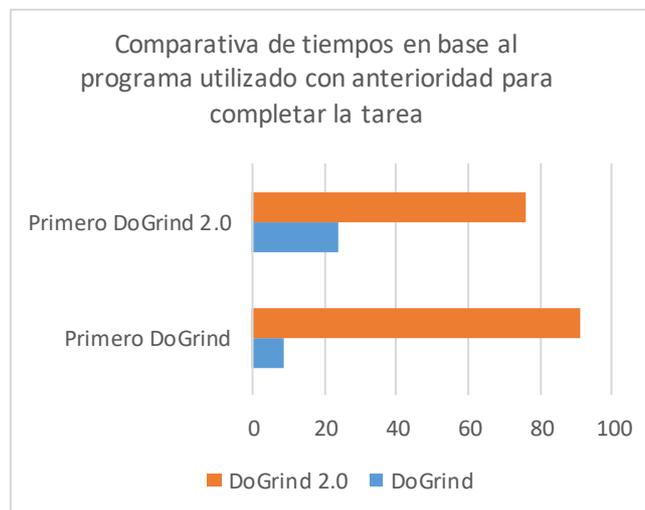


Figura 41: Comparativa de la rapidez de tiempos de ejecución en base al programa utilizado con anterioridad para completar la tarea

Analizando los datos en detalle, cuando DoGrind ha sido el primer programa en utilizarse para ejecutar los testeos, solo 7 de las 80 tareas han sido realizadas más

rápidamente en DoGrind. Sin embargo, cuando las acciones han sido realizadas primero en el prototipo DoGrind 2.0, 19 de las 80 tareas se han realizado en menor tiempo con DoGrind. Con esta afirmación se deduce que el factor de utilización tiene impacto en la correcta y rápida utilización de los softwares. Cuanto mayor sea la utilización del software, los usuarios interactúan más rápidamente debido a que durante ese proceso aprenden a utilizar el sistema.

Relación del tiempo estimado y tiempo real de utilización

Durante las experimentaciones, se ha utilizado el método adaptado GOMS-ITPX para cuantificar los tiempos estimados para la ejecución de tareas. Se han cuantificado los tiempos para cada operador en base al trabajo de Ramkumar et al., (2017), teniendo en cuenta la adaptación a pantallas táctiles presentado por Rice & Lartigue (2014).

Cabe destacar que los tiempos de espera debidos al rendimiento del sistema no se han tenido en cuenta. Se han menospreciado debido a que estos tiempos son iguales para cada uno de los participantes.

En la Tabla 25 se recoge la relación del tiempo estimado y el tiempo real para cada solución y por cada usuario.

Tabla 25: Comparación entre el tiempo real y el tiempo estimado

	Tº estimado	Tº real		Tº estimado	Tº real
	Dogrind			DoGrind 2.0	
Usuario 1	36, 2"	7'10"		26,6"	3'37"
Usuario 2	36, 2"	9'52"		26,6"	4'28"
Usuario 3	36, 2"	11'24"		26,6"	3'57"
Usuario 4	36, 2"	-		26,6"	3'15"
Usuario 5	36, 2"	9'27"		26,6"	4'24"
Usuario 6	36, 2"	6'31"		26,6"	5'06"
Usuario 7	36, 2"	9'47"		26,6"	4'53"
Usuario 8	36, 2"	6'36"		26,6"	3'33"
Usuario 9	36, 2"	6'13"		26,6"	3'50"
Usuario 10	36, 2"	7'52"		26,6"	4'47"
Usuario 11	36, 2"	10'25"		26,6"	5'48"
Usuario 12	36, 2"	8'24"		26,6"	4'48"
Usuario 13	36, 2"	9'52"		26,6"	4'35"
Usuario 14	36, 2"	11'13"		26,6"	5'48"
Usuario 15	36, 2"	6'28"		26,6"	3'31"
Usuario 16	36, 2"	6'		26,6"	3'40"
MEDIA	36, 2"	8'28"		26,6"	4'22"

Tal y como se puede observar en la Tabla 25, los usuarios han necesitado de media 1.42 veces más tiempo para ejecutar las mismas tareas en DoGrind que en DoGrind 2.0. En DoGrind, el tiempo estimado para la consecución de tareas ha sido de 36,2" frente a 8'28" de tiempo real medio para la finalización de las actividades. En DoGrind 2.0 por su parte, el tiempo estimado ha sido de 26,6" y los usuarios han necesitado 4'22" para finalizar las tareas encomendadas.

Relación sobre el número de errores

Para recoger la tasa de errores de cada software, se han analizado los errores que han realizado los usuarios en cada una de las acciones o subtareas. En su totalidad, del cómputo de las 160 tareas ejecutadas, el 88,75% de las mismas genera mayor ratio de errores en DoGrind que en DoGrind 2.0 (Figura 42), siendo una diferencia considerable entre ambas versiones del software. Con estos resultados, se puede relacionar que el valor de ajuste TTF obtenido del listado de verificación tiene efecto en el ratio de errores, cumpliendo la siguiente relación: cuanto mayor sea el valor de ajuste TTF, disminuye el ratio de errores.

Si la comparativa se realiza dependiendo de la utilización anticipada de un software u otro, se observa que el ratio de errores no varía demasiado. Si los usuarios empiezan a ejecutar los testeos con DoGrind, el 90% de las tareas tienen una cantidad menor de errores en DoGrind 2.0. Si, por el contrario, las actividades comienzan con el DoGrind 2.0, este porcentaje desciende a un 87,5%.

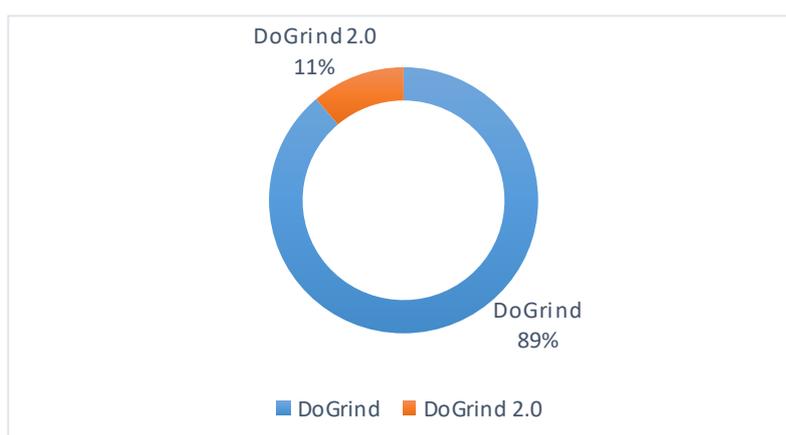


Figura 42: Comparativa del ratio de errores en DoGrind y DoGrind 2.0

Aprendibilidad

Para medir la aprendibilidad, se han considerado las subtareas que son similares entre ellas. Por una parte, se relacionan las subtareas T1-T2, T4-T5-T6, y por último las subtareas T8-T9-T10. En los resultados obtenidos, se comparará el tiempo de ejecución real de cada subtarea en el orden de ejecución.

De los resultados obtenidos (Figura 43), analizando los tiempos que los usuarios necesitan para ejecutar la tarea T2, se observa que el tiempo se ve reducido en comparación con la tarea T1. En DoGrind, el 71% de los usuarios ejecuta la T2 en menos tiempo que el T1, mientras que en DoGrind 2.0, es el 93% de los usuarios los que requieren menos tiempo.

Si se comparan las tareas T4, T5 y T6, el 74% de los usuarios reducen el tiempo de ejecución de la tarea mientras realizan repetidamente la misma acción. Los datos para DoGrind, son del 60% mientras que el porcentaje de los usuarios que reduce los tiempos de ejecución en DoGrind 2.0 asciende al 87 %.

En el listado de subtareas T8-T9-T10 se observa que un 77% de los participantes reducen el tiempo de ejecución de las tareas a medida que repiten actividades similares. En el caso de que las subtareas comiencen a ejecutarse con DoGrind, son el 66% de los usuarios los que reducen el tiempo de ejecución, frente al 87,5 de los individuos que requieren menos tiempo para realizar las tareas a medida que van aprendiendo y entendiendo mejor las actividades que debe desarrollar.

Comparando los resultados entre las dos soluciones, aunque la tónica general sea que el tiempo real para la ejecución de tareas sea más elevada durante los testeos que comienzan con DoGrind, es un rango de tiempo que no supera en ningún caso los 20 segundos.

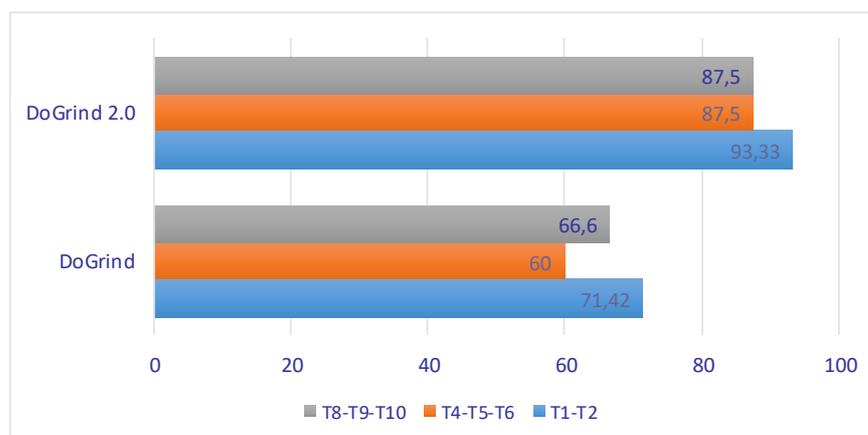


Figura 43: Aprendibilidad – usuarios que reducen el tiempo de ejecución en tareas repetidas

Resultado sobre la percepción de uso mediante el Cuestionario USE

Los valores de percepción de usuario se han obtenido mediante el cuestionario USE, recogiendo los resultados en base a una escala Likert de 7 puntos y la agrupación de preguntas seguidas en el cuestionario; Utilidad, Facilidad de Uso, Facilidad de Aprendizaje y Satisfacción.

Los datos que se muestran en la Tabla 26 son las puntuaciones medias obtenidas por cada solución y métrica.

Tabla 26: Puntuaciones generales obtenidos del cuestionario USE

Variable	Puntuación DoGrind	Puntuación DoGrind 2.0
Utilidad	5.4	7.9
Facilidad de uso	4.4	7.95
Facilidad de aprendizaje	4.6	8.4
Satisfacción	3.8	8.3

La relación entre las puntuaciones de los usuarios en base a los constructos de Utilidad, Facilidad de uso, Facilidad de Aprendizaje y Satisfacción son las que se recogen en la Tabla 27. Se aprecia que cada una de las métricas está mejor valorada en DoGrind 2.0. La satisfacción, por ejemplo, se evalúa el doble de bien, recibiendo 2.17 puntos frente a 1 punto del software DoGrind.

Tabla 27: Relación de los resultados obtenidos del cuestionario USE para las soluciones DoGrind y DoGrind 2.0

	DoGrind	DoGrind 2.0
Utilidad	1	1.46
Facilidad de uso	1	1.80
Facilidad de aprendizaje	1	1.80
Satisfacción	1	2.17

Analizando los resultados, se observa que cuanto mayor es el valor de ajuste TTF, mejores son las puntuaciones obtenidas por parte de los usuarios. En el caso del software DoGrind, se puede observar que siendo el ajuste del 18.90 %, solamente el constructo de Utilidad obtiene un 5.3 puntos sobre 10. La Facilidad de uso, Facilidad de Aprendizaje y la Satisfacción no aprueban el test según los resultados obtenidos de los cuestionarios USE.

En el caso del DoGrind 2.0, cumplimentando el 60% de los ítems del listado de verificación, los resultados obtenidos por parte de los usuarios rondan los 8 puntos sobre 10.

4.2.1.6 Conclusiones

Los resultados pragmáticos recogidos, muestran que las tareas realizadas en soluciones orientadas a cumplir las necesidades de las personas y que cumplen mayor nivel de Ajuste, se completan en menor tiempo. Asimismo, se puede afirmar que, tal y como se ha considerado en el apartado metodológico, el orden de uso de los softwares, tiene efectos en la ejecución de las tareas.

Además, los resultados demuestran que la previa utilización de soluciones que han sido diseñadas teniendo en cuenta los patrones de Ajuste, ayudan a que los usuarios se adapten mejor a otras soluciones con menor valor de ajuste TTF.

A su vez, se puede deducir que, al ejecutar tareas similares, los usuarios aprenden las pautas a seguir en cada subtarea. Además, se cumple la relación que cuanto mayor sea el valor de ajuste TTF, mayor porcentaje de usuarios serán capaces de ejecutar las tareas con mayor rapidez a medida que se vayan repitiendo las actividades.

Por otra parte, se ha observado que cuanto mayor sea el entendimiento hacia el sistema, esto es, cuando la aprendibilidad se vea incrementada, los usuarios desarrollan las tareas en menor tiempo y de manera preliminar se puede decir que los resultados de desempeño individual serán mejores.

Los datos recogidos de los cuestionarios USE en relación a los Valores de Ajuste TTF determinados por un evaluador experto, indican que cuanto mayor sea el valor de ajuste, la percepción de los usuarios frente a las soluciones es mejor.

Asimismo, si se relacionan las puntuaciones obtenidas en el cuestionario USE con los valores de Ajuste, los tiempos de ejecución de tareas, el ratio de errores y las

puntuaciones de los participantes, se puede concluir lo siguiente: Cuanto mayor sea el valor de ajuste, el tiempo de ejecución de tareas disminuye, el ratio de errores desciende y las puntuaciones de los usuarios sobre la Utilidad, Facilidad de Uso, Facilidad de Aprendizaje y la Satisfacción aumentan.

Debido a que las experimentaciones se han llevado a cabo en un entorno de laboratorio, se ha podido obtener una buena percepción de lo que los usuarios de test han realizado, obteniendo una mayor interacción entre los especialistas que han conducido la prueba y el participante durante el proceso de experimentación. Aunque no haya sido posible simular las condiciones reales del entorno industrial, se han podido recoger problemas como tiempos de espera excesiva o situaciones de indecisión. De todas formas, un entorno de trabajo real proporciona diversos inputs que pueden ser relevantes para considerar durante la ejecución de las actividades.

Durante las experimentaciones, se ha podido observar que los usuarios actúan de diversas formas. Ciertas personas analizan diferentes opciones, las comparan con el objetivo en base a la actividad que deben realizar, y ejecutan la tarea en función de una decisión. En estos casos, el tiempo de ejecución de las tareas aumenta de forma que desciende en número de errores. Por otra parte, otros usuarios comenten errores continuamente, en gran parte debido a que cuando utilizan un producto interactivo su principal prioridad es la eficiencia, lograr sus objetivos lo más rápido posible, y eso implica que no atiendan a cada detalle de la interfaz ni piensen detenidamente cada acción que llevan a cabo.

Los resultados obtenidos de las experimentaciones han sido satisfactorios, ya que se han podido observar las distintas conductas de los usuarios y se ha podido cumplir y validar parcialmente las hipótesis 1,2 y 3. Por una parte, se ha podido recoger que cuanto mayor sea el valor de ajuste TTF, disminuye el tiempo de realización de las tareas y el ratio de errores además de lograr mejores valoraciones en términos de experiencia de usuario. A su vez, la y como afirma la segunda hipótesis, la familiarización con la interfaz ayuda a reducir el tiempo de ejecución de las tareas encomendadas. Finalmente, se ha podido validar la tercera hipótesis gracias a la comparación de las dos versiones, recogiendo que un valor de ajuste TTF mayor ayuda a que la interfaz sea percibida como más útil y fácil de usar, exigiendo menos esfuerzo y generando mayor satisfacción. Por otra parte, se ha cumplido con los objetivos 1,2 y 3 y los sub-objetivos 1.1, 1.2 y 3.1. planteados, contribuyendo a la definición del modelo holístico y obteniendo resultados que ayudan en la definición del indicador del desempeño. Aun así, se deben llevar a cabo más experimentaciones con

el objetivo de validar del todo las hipótesis planteadas, Además, sería interesante analizar el uso de las interfaces digitales en diversos contextos y situaciones.

4.2.2 CASO DE ESTUDIO 2 - CNC GOITI

Este segundo caso de estudio pretende identificar las implicaciones del valor de ajuste TTF en el tiempo de realización de tareas y la cantidad de errores y las variables de percepción de usuario. Para ello, se evaluará el software CNC Goiti.

Esta experimentación está alineada a las Hipótesis 1 y 3. Además, se quiere cumplir con los objetivos 1,2 y 3 junto a los sub-objetivos 1.1, 1.2, 1.3 y 3.1.

4.2.2.1 Software evaluado

El CNC Goiti (Danobatgroup S.Coop., 2019), es un software para la máquina de corte por láser desarrollada por la empresa Danobatgroup S. Coop. Mediante la citada máquina se consigue una gran reducción del coste productivo asociado al ahorro del consumo energético. La elección de este software se debe a que se ha podido tener acceso a la solución digital y una gran variedad de recursos en una plataforma real. Además, la interfaz tiene un diseño actual, por lo que al valor de ajuste es más elevado en comparación a DoGrind. Con la evaluación del software CNC Goiti, se podrán identificar las implicaciones de los factores de diseño en el desempeño individual. A continuación, se muestra un pantallazo del software que ha sido objeto de evaluación (Figura 44).

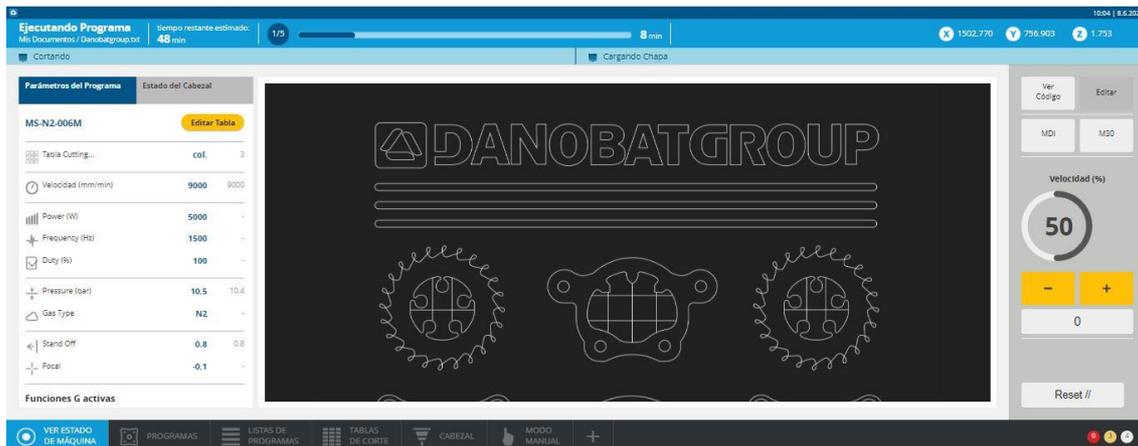


Figura 44: La interfaz gráfica del software GOITI

4.2.2.2 Contexto de evaluación

El estudio se ha llevado a cabo en el laboratorio ULAB de Mondragon Unibertsitatea. Al ser un entorno controlado y preparado específicamente para el estudio, no se han

podido simular los factores existentes en un contexto industrial real. Aun así, para la realización de las tareas, se ha utilizado la pantalla Multi-Touch HANNSpree HT225HPB, una pantalla táctil de 25" con el cual se ha podido simular la interacción en una interfaz de uso real.

4.2.2.3 Muestra

Han sido 20 las personas seleccionadas para la realización de la experimentación. El criterio de selección se ha basado en base al nivel de utilización y manejo de TICs y el conocimiento previo sobre interfaces industriales. Por ello, la edad de los participantes ha rondado entre los 20 y 35 años. El descarte de usuarios con conocimiento previo se ha debido a la idea de no interferir en el factor de aprendibilidad y la percepción sobre la facilidad de uso. Además, todas las personas han sido ajenas a la empresa y el sector de uso, siendo voluntaria su participación. Además, se ha contado con la ayuda de un evaluador experto para la compleción del listado de verificación y así calcular el valor de ajuste TTF.

4.2.2.4 Procedimiento y metodología

En este caso de estudio, se ha seguido el mismo procedimiento que en el primer caso de estudio. Primero, se ha calculado el valor de ajuste TTF por parte del evaluador experto. Cabe destacar que no todos los items del listado de verificación proceden, por lo que los datos se han recogido en porcentajes. Tras ello, se han propuesto las tareas a ejecutar por los participantes y se ha realizado la estimación GOMS teniendo en cuenta los tiempos establecidos por el método KLM, ya que, en este caso, los participantes también han procedido a la consecución de las actividades en un dispositivo táctil. Tras realizar una primera prueba y garantizar la fiabilidad de la misma, se ha seleccionado la muestra y se ha procedido a comunicarles la propuesta de participación en el caso de estudio. Por otra parte, se ha preparado el laboratorio ULAB con el material y equipamientos necesarios. La actividad se ha monitorizado mediante el Eye Tracker Tobii X2-30 (Tobiipro, 2018). Finalmente, se ha procedido a la ejecución de la experimentación.

La experimentación ha estado guiada por un facilitador, mientras que otra persona ha realizado las labores de observación. Los participantes han tenido que realizar las tareas de forma autónoma. Antes de comenzar con la ejecución de tareas, se les ha explicado el procedimiento y pasos a seguir, dejando un minuto para interactuar con el software y reconocer las funcionalidades principales. Durante la realización de las actividades, los participantes han tenido a mano una hoja con la descripción de las

tareas a realizar. Finalmente, se han recogido las evaluaciones mediante el cuestionario USE para su posterior análisis junto al resto de resultados.

Para llevar a cabo el estudio, los usuarios han tenido que realizar cuatro tareas que se redactan a continuación (Tabla 28):

Tabla 28: Tareas a realizar en el software GOITI

Tarea	Descripción
Tarea 1	Editar parámetros en la tabla MS-N2.006M: gas type O2, Nozzle diameter 2 y exportar a máquina
Tarea 2	Abrir tabla MS-AIR.006M desde la biblioteca de tablas
Tarea 3	¿De cuánto es la presión del cabezal?
Tarea 4	Accede a las 3 notificaciones recibidas en el apartado “estado de máquina”

4.2.2.5 Resultados

En este apartado se recogen los resultados obtenidos del segundo caso de estudio. Se han analizado los datos obtenidos de (i) la lista de verificación en términos del valor de Ajuste TTF, los resultados obtenidos de (ii) la observación realizada para analizar la ejecución de tareas mediante el método adaptado GOMS, y por último los resultados obtenidos del (iii) el cuestionario USE, cumplimentado por los usuarios.

Listado de verificación

Para determinar el Valor de ajuste TTF, se ha cumplimentado el listado de verificación para el software CNC GOITI. Los ítems se han agrupado en tres grupos (i) gestionar ficheros, (ii) introducción de parámetros y (iii) ejecución. Tras completar el listado de verificación, se ha obtenido que el software Goiti cumple en un 66,20% de ajuste las demandas de la tarea y las capacidades del sistema.

Resultados pragmáticos

Mediante el método GOMS y los tiempos establecidos por el método KLM, se ha realizado un exhaustivo desglose de los pasos a seguir para la consecución de las

tareas definidas. La Tabla 29 recoge un ejemplo del análisis GOMS para la primera tarea del CNC GOITI.

Tabla 29: GOMS para la primera tarea en GOITI

Editar parámetros en la tabla		GOITI				
OPERATOR NAME	DESCRIPTION	METHOD FOR GOAL Editar Parámetros y exportar máquina	TASK LEVEL ERRORS	NUMBER OF TRIALS	EXPECTED TIME (s)	TASK COMPLETION TIME (s)
Ac	Performing required physical actions on the control boards					
Af	Performing required physical actions in the field					
Cc	Looking for required information on the control boards	Step 2. Buscar "Editar tabla" (Gesture) Step 4. Buscar "MS-N2-006" (Gesture) Step 5. Buscar "Gas type" (Gesture) Step 7. Buscar "O2" (Gesture) Step 9. Buscar "Nozzle Diameter" (Gesture) Step 11. Buscar "Exportar máquina" (Gesture)	TLE - C2		0'9 0'9 0'9 0'9 0'9 0'9	
Cf	Looking for required information in the field					
Rc	Obtaining required information on the control boards					
Rf	Obtaining required information in the field					
Ip	Producing verbal or written instructions					
Ir	Receiving verbal or written instructions					
Ss	Selecting or setting a value on the control boards	Step 3. Seleccionar operación "Editar tabla" (TAP) Step 6. Seleccionar "Gas type" (TAP) Step 8. Seleccionar "O2" (TAP) Step 10. Seleccionar "Nozzle Diameter" (TAP) Step 12. Seleccionar "Exportar máquina" (TAP)	TLE - S2		0'2 0'2 0'2 0'2 0'2	
Sf	Selecting or setting a value in the field					
Dp	Making a decision based on procedures					
Dw	Making a decision without available					
W	Waiting	Step 1. Situar en la interfaz (Initial act)	TLE - W1		-	
TOTALES					6,4"	10,13"

La comparación del tiempo requerido por los usuarios se ha comparado con el tiempo marcado por un evaluador experto, añadiendo el componente de operador mental y tiempos de espera a los tiempos establecidos mediante el método KLM. Si se comparan los tiempos medios recogidos para la realización de cada una de las tareas en comparación con el tiempo requerido por el experto, se observa que el 100 % de los participantes ha necesitado más tiempo para terminar las actividades (Tabla 30).

Tabla 30: Comparación general del tiempo estimado, tiempo real y errores

	Tarea 1	Tarea 2	Tarea 3	Tarea 4
Tiempo estimado	00:00:06	00:00:03	00:00:04	00:00:08
Tiempo experto	00:00:10	00:00:06	00:00:04	00:00:11
Tiempo real medio	00:00:36	00:00:22	00:01:16	00:00:45
Cantidad media de errores	1,35	0,8	3,9	1,55

Si se comparan los tiempos medios reales con los tiempos requeridos por el experto, se recoge que para la tarea 1, de media, los usuarios han necesitado 3,58 veces más de tiempo que el usuario experto. En la tarea 1, el usuario que más tiempo ha necesitado para terminar la tarea, ha necesitado 1'07", frente a 10" marcados por el usuario experto. En la segunda tarea, el usuario que más tiempo ha tardado para terminar la tarea, lo ha hecho en 38", esto es, en 3,56 veces más de tiempo que el usuario experto. Para realizar la tercera actividad, los tiempos indican que los usuarios han necesitado de media 15,9 veces más de tiempo para terminar las actividades, siendo la tarea que más diferencias de tiempo ha generado. Finalmente, los usuarios han necesitado de media 3,91 veces más de tiempo para completar la última tarea. Tres de ellos han necesitado más de un minuto para ejecutar la actividad frente a los 11 segundos requeridos por el usuario experto (Figura 45).

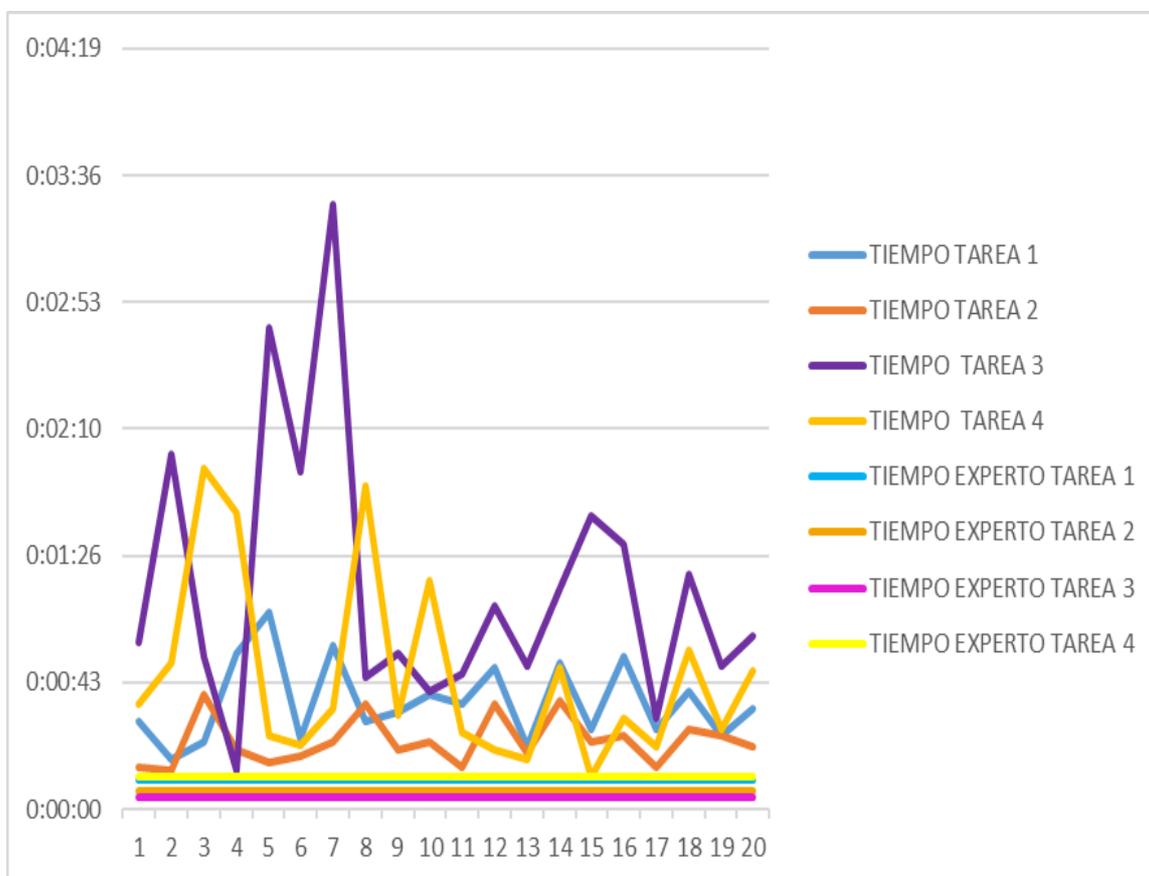


Figura 45: Relación entre el tiempo de experto y los tiempos reales por usuario y tarea

En cuanto a errores, en la tarea 1, el mismo usuario que ha necesitado más tiempo para terminar las actividades, ha sido quien ha cometido la mayoría de errores, 4 en su totalidad. En la segunda tarea, el usuario que más errores ha cometido ha tenido 7 fallos. Tal y como se ha comentado, la tarea 3 ha sido la actividad que mayor dificultad ha generado. Además, en términos de tiempo de ejecución y errores, han sido muchos

los usuarios que han tenido dificultades para realizar las tareas encomendadas. Así, el usuario que más errores ha cometido, ha realizado 11 fallos. En la última tarea, los tres usuarios que han necesitado más de un minuto para terminar la tarea, han cometido 6 errores durante la ejecución de la misma (Figura 46).

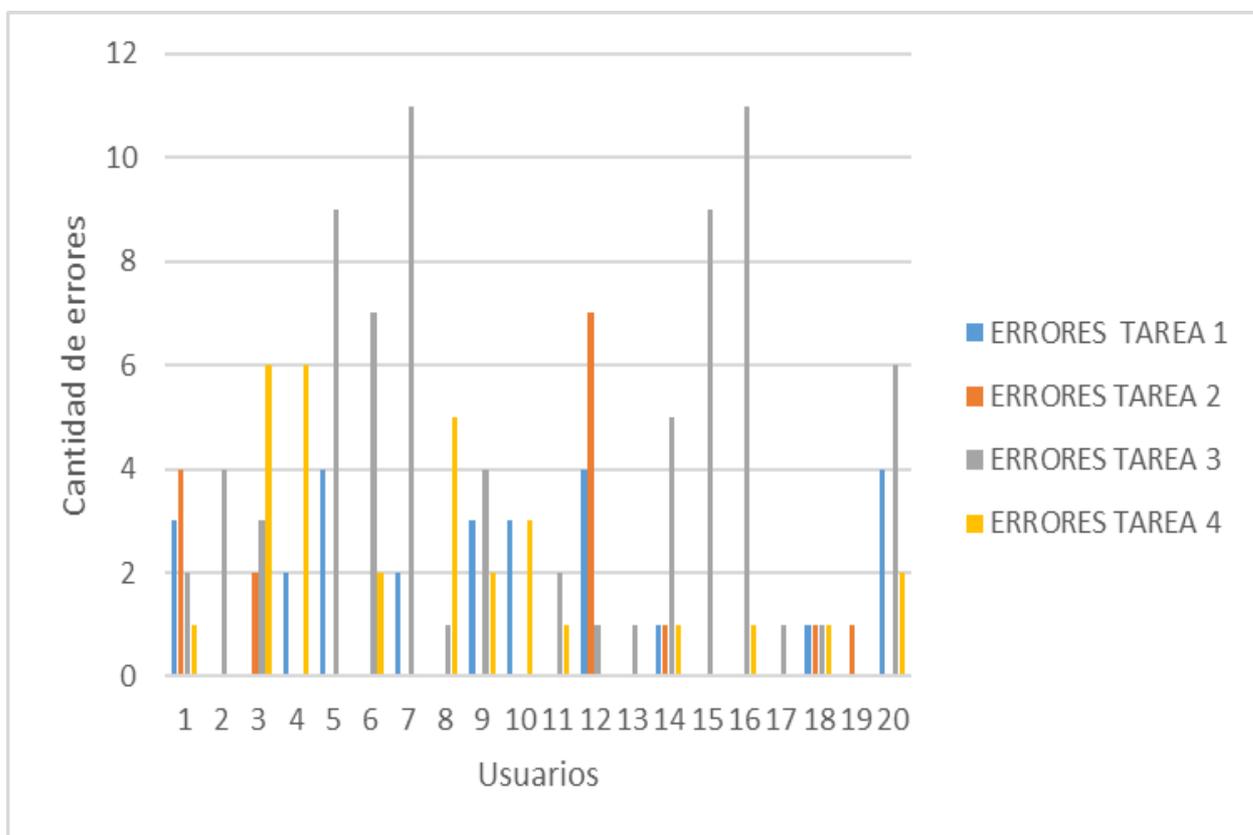


Figura 46: Cantidad de errores por usuario y tarea

De todas formas, el 42,5% del total de las tareas realizadas por los usuarios, no han obtenido errores. La siguiente tabla muestra el porcentaje de los usuarios que han sido capaces de completar las tareas sin errores (Tabla 31).

Tabla 31: Porcentaje de usuarios que han realizado las tareas sin errores

	Tarea 1	Tarea 2	Tarea 3	Tarea 4
% Usuarios	50%	65%	15%	40%

Resultado sobre la percepción de uso mediante el Cuestionario USE

Los datos obtenidos del cuestionario USE indican que los usuarios perciben el software como una solución usable, fácil de manejar, fácil de aprender y satisfactoria. La Tabla 32 muestra los valores medios resultantes del cuestionario, los cuales han obtenido una puntuación elevada. La utilidad ha sido evaluada con un 7,6 puntos sobre 10, la facilidad de uso con un 7,8 de media, la facilidad de aprendizaje con un 8,2 sobre 10 y la satisfacción con un 8 sobre 10 de media.

Tabla 32: Puntuación media de los valores obtenidos en el cuestionario USE

Variable	Puntuación
Utilidad	7,6
Facilidad de uso	7,8
Facilidad de aprendizaje	8,2
Satisfacción	8

Por otra parte, la Figura 47 muestra todas las puntuaciones obtenidas por cada métrica y usuario. Se aprecia que la utilidad y facilidad de uso son los atributos que menos puntuación han logrado, aunque las dos métricas obtienen puntuaciones muy altas, un 7,6 y 7,8 de media respectivamente.

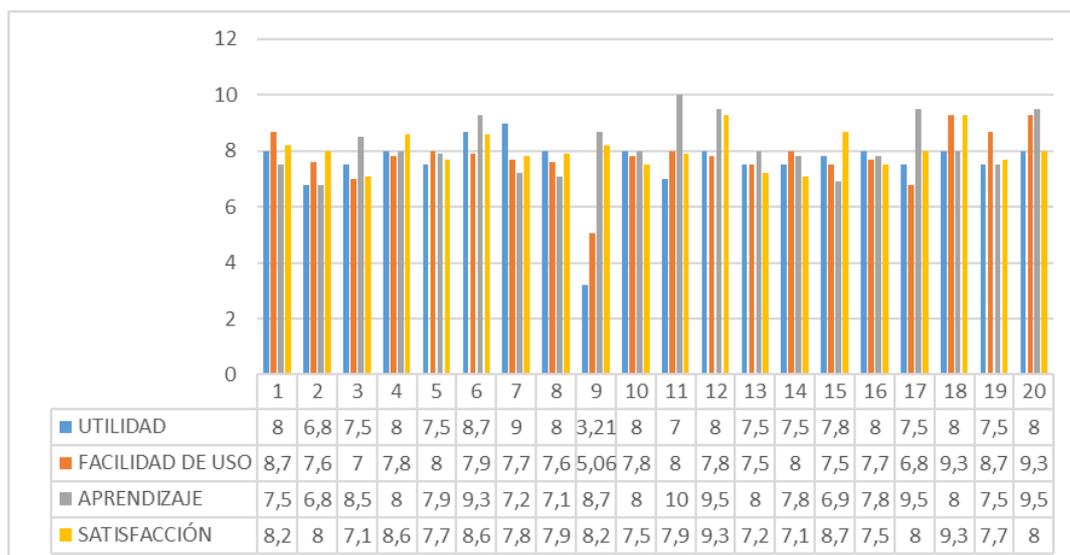


Figura 47: Puntuaciones recogidas mediante el cuestionario USE

4.2.2.6 Conclusiones

La interfaz, con un valor de ajuste TTF del 66,20%, traslada su propósito y cumple con su función de forma clara. Es por ello que los usuarios necesitan de menos asistencia para llevar a cabo la mayoría de tareas. Durante las experimentaciones se ha observado que, aunque los usuarios hayan cometido diversos errores o la navegación se haya excedido más de lo necesario en el tiempo, han podido finalizar las tareas encomendadas sin ayuda. En esta línea, debido a que las características clave de la interfaz funcionan bien y sin existencia de errores, los participantes han interactuado con confianza. Además, el sistema ofrece feedback sobre el estado de las acciones y el usuario es informado de cualquier incidente que ocurre en la solución, siendo una ayuda para solucionar las acciones erróneas.

En lo que respecta a la ejecución de tareas, todos los usuarios han necesitado más tiempo del estimado para realizar las actividades. Aunque en algunos de los casos los tiempos hayan excedido y los resultados no hayan sido todo lo satisfactorios que podrían llegar a haber sido, se observa que los usuarios han valorado el software de forma satisfactoria.

De todas formas, los resultados y la tendencia indican que la aprendibilidad del sistema no es buena. Aun así, tras el caso de estudio realizado, se ha observado que las dos últimas tareas tienen un grado de dificultad mucho más elevado que las dos primeras. Es por ello que los usuarios tardan más tiempo y cometen más errores en la ejecución de las dos últimas tareas. A pesar de todo, los valores de aprendibilidad logrados por el software en el cuestionario USE, indican que la percepción de los usuarios acerca de la facilidad de aprendizaje es buena.

La solución muestra un contenido actualizado, autorizado y fiable, junto a un lenguaje amigable, familiar y cercano. Además, aunque el valor TTF sea de un 66,20%, la maquetación y el diseño gráfico son bastante claros y el contenido se transmite de manera precisa, de forma que esto ayuda que el usuario cometa menos errores durante la interacción con la plataforma y mejore la UX. De hecho, tal y como indican los resultados, 3 de las 4 tareas han recogido de media menos de 2 errores por usuario.

La navegación y arquitectura de la información es más obvia que en las interfaces industriales más tradicionales, siendo más fácil, accesible y navegable. Las opciones de navegación y menú están ordenadas de manera lógica y orientadas a la consecución de tareas. Por otra parte, la consistencia de la solución ha ayudado a obtener resultados satisfactorios de facilidad de uso y satisfacción.

Por los citados motivos, los usuarios han percibido el software GOITI como un software amigable, el cual les ha ayudado a realizar las tareas de forma autónoma. De ahí las puntuaciones obtenidas en el cuestionario USE.

Si comparamos el valor TTF con los valores recogidos durante las experimentaciones y los resultados del cuestionario USE, se deduce que cuando el porcentaje del valor de ajuste TTF supera el 50%, los resultados del cuestionario USE, independientemente de los tiempos y cantidad de errores durante la ejecución de tareas, logran unos resultados muy satisfactorios en términos de percepción de usuario.

Los resultados obtenidos de las experimentaciones han sido satisfactorios, ya que se han podido observar las distintas conductas de los usuarios y se ha podido cumplir y validar parcialmente las hipótesis 1 y 3. Por una parte, se observa que los tiempos de realización de actividades y errores se relacionan con el valor de ajuste TTF, y por otra parte, los resultados indican que cuanto mayor sea el valor de ajuste TTF, los resultados obtenidos por parte de los usuarios son más satisfactorios. Además, se ha cumplido con los objetivos 1,2 y 3, contribuyendo a la definición del modelo holístico y obteniendo resultados que ayudan en la definición del indicador del desempeño. Aun así, se deben llevar a cabo más experimentaciones con el objetivo de validar del todo las hipótesis planteadas, Además, sería interesante analizar el uso de las interfaces digitales en diversos contextos y situaciones.

4.2.3 CASO DE ESTUDIO 3 - CNC FAGOR SIMULATOR 1.60

Este tercer caso de estudio pretende validar las Hipótesis 1 y 3 y cumplir con los objetivos 1 y 3 junto a los sub-objetivos 1.1, 1.2, 1.3 y 3.1. Para ello, se utilizará el CNC Fagor Simulator 1.60.

4.2.3.1 Software evaluado

El software CNC Fagor Simulator 1.60 (Fagor Automation, 2013) es un programa de fresado para la mecanización de piezas. Está diseñado para programar y ejecutar piezas, de forma que los operarios pueden controlar todo el proceso.

Es una interfaz industrial especializada con funciones específicas de máquinas CNC, contando con diversas funcionalidades y una navegación a varios niveles.

A continuación, se muestra un pantallazo de la interfaz industrial que ha sido objeto de evaluación (Figura 48).

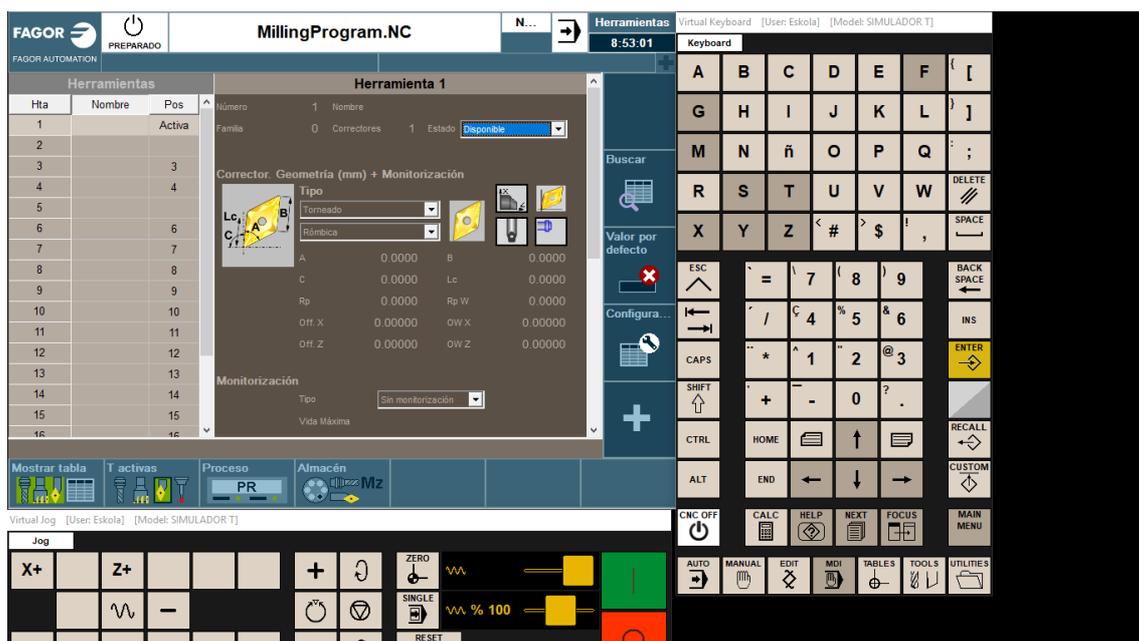


Figura 48: Software CNC Fagor Simulator 1.60

4.2.3.2 Contexto de evaluación

El estudio se ha llevado a cabo en el laboratorio de usabilidad ULAB de Mondragon Unibertsitatea. Tal y como ha ocurrido en las anteriores experimentaciones, no se han podido simular los factores existentes en un contexto industrial real debido a que el

laboratorio de usabilidad es un entorno controlado y preparado específicamente para el estudio. De todas formas, se ha simulado la interacción táctil mediante la utilización de la pantalla Multi-Touch HANNSpree HT225HPB de 25". Debido a la complejidad del software, en este caso de estudio se han obtenido resultados relevantes durante la ejecución de tareas y las conversaciones entre los evaluadores y usuarios.

4.2.3.3 Muestra

La muestra para este caso de estudio ha sido de 20 participantes. Tal y como se ha procedido en los casos de estudio previos, el criterio de selección se ha basado en el nivel de utilización y manejo de TICs y la falta de conocimiento de interfaces industriales, siendo personas ajenas a la empresa y el sector de uso. Los participantes tienen una edad comprendida entre los 23 y 35 años. 10 de ellos son estudiantes y los otros 10 trabajadores ajenos a la disciplina de uso de la interfaz en cuestión y el sector de la máquina herramienta. La participación ha sido voluntaria en todos los estudios. Además, se ha contado con la ayuda de un evaluador experto para la compleción del listado de verificación y así calcular el valor de ajuste TTF.

4.2.3.4 Procedimiento y metodología

Para este caso de estudio, se ha repetido el mismo procedimiento seguido en los casos de estudio 1 y 2. Primero, se ha calculado el valor de ajuste TTF por parte del evaluador experto. En este caso, tal y como se ha realizado con los casos de estudio 1 y 2, los ítems se han agrupado de la misma manera que indica el listado de verificación; esto es, en tres grupos (i) gestión de ficheros, (ii) introducción de parámetros y (iii) ejecución. En esta ocasión tampoco se han podido cumplimentar todos los ítems del listado de verificación, por lo que los datos se han recogido en porcentajes. Tras ello, se han definido las tareas a ejecutar por los participantes y se ha realizado la estimación GOMS teniendo en cuenta los tiempos establecidos por el método KLM debido a la consecución del testeo en un dispositivo táctil.

Tras garantizar la fiabilidad de la prueba, se ha seleccionado la muestra. Por otra parte, se ha preparado el laboratorio ULAB con el material y equipamiento a utilizar. En este caso la actividad se ha monitorizado mediante el Eye Tracker Tobii X2-30 (Tobiipro, 2018). Tras calibrar el Eye Tracker, se ha procedido a la ejecución de la experimentación. Los participantes han realizado las tareas de forma autónoma. La experimentación ha estado guiada por un facilitador, mientras que otra persona ha realizado las labores de observación. Antes de comenzar con la ejecución de tareas y explicarles los pasos a seguir, han tenido un minuto para interactuar con el software y

reconocer las funcionalidades principales. Durante la realización de las actividades, los participantes han teniendo a mano una hoja con la descripción de las tareas a realizar. Finalmente, se han recogido las evaluaciones mediante el cuestionario USE para su posterior análisis junto al resto de resultados.

Todos los participantes han realizado el testeo de forma autónoma y los evaluadores no han interrumpido la realización de las tareas. Aun así, se ha hecho uso de la técnica *Think Aloud* (Nielsen et al., 2002), donde los participantes han ido comentando en alto sus percepciones sobre la interacción. Tras la finalización de las tareas a realizar, se han recogido las evaluaciones mediante el cuestionario USE para su posterior análisis junto al resto de resultados.

Para llevar a cabo el estudio, los usuarios han tenido que realizar dos tareas que se redactan a continuación (Tabla 33).

Tabla 33: Tareas a ejecutar en el CNC Fagor Simulator 1.60

Tarea	Descripción
Tarea 1	Ejecuta el programa MillingProgram NC y simúlalo.
Tarea 2	Encuentra información sobre "shortcuts".

4.2.3.5 Resultados

En este apartado se recogen los resultados obtenidos del tercer caso de estudio. Se han analizado los datos obtenidos de (i) la lista de verificación en términos del valor de Ajuste TTF, los resultados obtenidos de (ii) la observación realizada para analizar la ejecución de tareas mediante el método adaptado GOMS, y por último los resultados obtenidos del (iii) el cuestionario USE, cumplimentado por los usuarios.

Listado de verificación

En este caso, tal y como se ha realizado con los casos de estudio 1 y 2, los items se han agrupado de la misma manera que indica el listado de verificación; esto es, en tres grupos (i) gestión de ficheros, (ii) introducción de parámetros y (iii) ejecución. Tras cumplimentar el listado de verificación, se ha obtenido que el software CNC Fagor

Simulador 1.60 cumple en un 18,4% con los requisitos de ajuste entre las demandas de la tarea y las capacidades del sistema.

En este caso, tampoco todos los ítems del listado de verificación proceden, por lo que los datos se han recogido en porcentajes.

Resultados pragmáticos

A continuación se muestran los resultados pragmáticos extraídos tras la experimentación.

Relación del tiempo estimado y real de utilización

Si se comparan los tiempos medios recogidos para la realización de cada una de las tareas en comparación con el tiempo requerido por el experto, se observa que el 100 % de los participantes ha necesitado más tiempo que el estimado para terminar las actividades (Tabla 34).

Tabla 34: Comparación general del tiempo estimado, tiempo real y errores

	Tarea 1	Tarea 2
Tiempo estimado	00:00:06	00:00:18
Tiempo experto	00:00:07	00:00:19
Tiempo real medio	00:08:32	00:00:39
Cantidad media de errores	33,7	1,6

Si se analizan los tiempos marcados por cada uno de los usuarios para realizar la tarea 1, se aprecia que cada uno de ellos ha necesitado más tiempo que el estimado para la consecución del objetivo. Además, los tiempos difieren muchísimo del tiempo estimado y el tiempo marcado por el experto. Por ejemplo, el usuario que más tiempo ha necesitado para terminar la primera actividad, ha necesitado 10'56" para finalizarla, cuando el tiempo estimado no sobrepasa los 10 segundos. Aun así, el usuario que menos tiempo ha necesitado para terminar la primera tarea ha necesitado 2'15". Los datos muestran que la diferencia de tiempos es muy elevada. En las experimentaciones se ha observado que los usuarios han tenido grandes dificultades para entender la navegación y situarse en cada una de las pantallas. Por dicho motivo,

la interacción ha sido muy dificultosa y han necesitado mucho tiempo para terminar las tareas. Es más, el 100% de los usuarios ha solicitado ayuda durante el primer minuto de interacción. De todas formas, se ha ofrecido ayuda cuando el tiempo de ejecución ha superado los 7 minutos. En concreto, han sido 18 las personas que han superado los 7 minutos de ejecución, por lo que ha sido el 90% de la muestra el que ha obtenido ayuda externa para la consecución de los objetivos.

Para la segunda tarea, los datos han sido mejores. El tiempo estimado es de 18" frente a 39" de media que han necesitado los usuarios. Ha habido dos personas que han finalizado la actividad en 26", siendo el tiempo más bajo marcado para la finalización de la actividad. La persona que más ha tardado ha necesitado 4'28" para terminar la tarea.

En cuanto a errores, en la primera actividad, los usuarios han cometido de media 33,7 fallos, frente a los 1,6 errores de media para la segunda tarea. En la primera tarea, el usuario que más errores ha cometido ha realizado 87 interacciones erróneas durante los 10 minutos que ha necesitado para finalizar la actividad. El usuario que menos errores ha cometido, ha sumado un número de 10 fallos, siendo el mismo usuario que ha finalizado la tarea en menos tiempo. La cantidad de errores ha disminuido considerablemente para la segunda actividad. El mismo usuario que ha necesitado el que más tiempo para finalizar la tarea, ha sido quien más interacciones erróneas ha provocado, con un total de 17 (Figura 49).

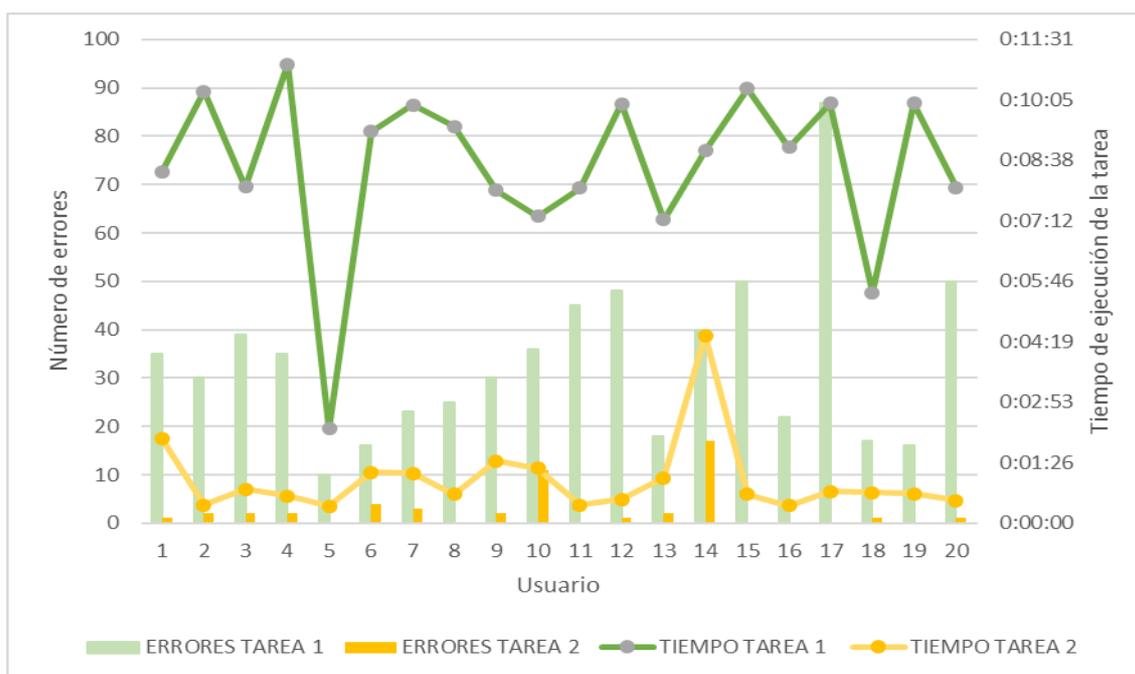


Figura 49: Relación de tiempos y errores de ejecución en el software CNC Fagor Simulator 1.60

Los datos recogidos muestran que la relación de errores y tiempo de ejecución real no es directa. Esto es, el número de errores no está directamente relacionado con el tiempo de ejecución de la tarea (Figura 49).

Si comparamos por ejemplo los datos de los usuarios 6 y 10, podemos observar que el usuario 6 ha realizado 16 errores y ha necesitado 9 minutos y 20 segundos para finalizar la primera tarea, mientras que el usuario 10 ha realizado 36 errores en 7 minutos y 19 segundos que ha necesitado para terminar la tarea a realizar.

Resultado sobre la percepción de uso mediante el Cuestionario USE

Tras la realización de las tareas, los usuarios han tenido que completar el cuestionario USE. Las valoraciones medias de los participantes sobre el software CNC Fagor Simulator 1.60 han sido los siguientes (Tabla 35):

Tabla 35: Valoraciones medias obtenidas tras el cuestionario USE para el CNC Fagor Simulator 1.60

Variable	Puntuación
Utilidad	3,7
Facilidad de uso	3,1
Facilidad de aprendizaje	3,2
Satisfacción	2,3

Si se analizan los resultados individuales para cada una de las métricas del cuestionario USE, se aprecia que los valores más elevados han sido obtenidos por la utilidad. Por su parte, los resultados de satisfacción general indican que los participantes han percibido el software como una solución poco adaptada y dificultosa.

Tras analizar las puntuaciones recogidas en el cuestionario, se observa que las valoraciones recogidas son dispares (Figura 50). El usuario que peor ha puntuado el software en términos de utilidad lo ha puntuado con un 1.4 sobre 10, mientras que el usuario que mejor lo ha valorado ha puntuado con un 8.4 sobre 10.

Los datos recogidos en términos de facilidad de uso indican que el software no es percibido como fácil de usar, siendo de un 3.1 sobre 10 la puntuación media obtenida.

El 90 % de los usuarios indican que el uso del sistema no es amigable y el 70% dice necesitar indicaciones escritas para llevar a cabo la tarea encomendada.

El usuario que mejor ha puntuado el software en términos de facilidad de uso, lo ha evaluado con un 5.1 sobre 10. De todas formas, si analizamos el tiempo requerido por este usuario para la ejecución de la primera tarea a realizar, vemos que ha necesitado 78,7 veces más de tiempo que el estimado y casi 4 veces más de tiempo para terminar la segunda actividad.

El 90 % de los testeados dice no estar satisfecho con la experiencia de uso. El 75% a su vez, indica que el diseño de la interfaz no facilita la realización de las tareas y el 85% han indicado que no les ha parecido agradable de usar. El 100% de los usuarios dice no sentirse seguro al usar el software. En esta línea, el 85% de los usuarios han indicado no haber completado las tareas de forma autónoma.

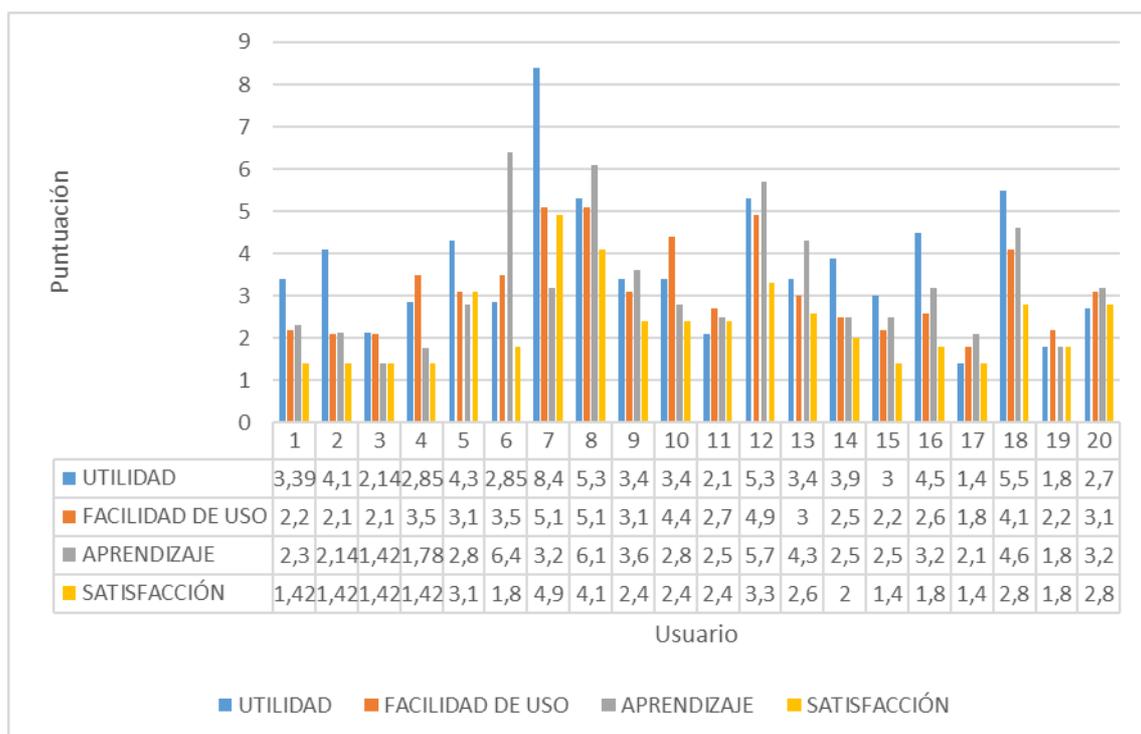


Figura 50: Resultados del cuestionario USE CNC Fagor Simulator 1.60

4.2.3.6 Conclusiones

Cumpliendo en un 18,4% el valor de ajuste TTF, el 85 % de los usuarios cree que el diseño del software no les ayuda a ser eficaces y consideran que el mismo no les

permite tener el control sobre las tareas durante su ejecución, dificultando la consecución de objetivos.

En cuanto a las conclusiones recogidas tras el análisis de los resultados pragmáticos se observa que la tendencia a cometer errores disminuye a medida que los usuarios van aprendiendo el uso del software. Sin embargo, los usuarios no perciben que la aprendibilidad del software sea buena, puesto que lo han valorado con una media de 3.2 de nota sobre 10. El 75% de los testados dice no haber aprendido rápidamente a usar el sistema y el 55% considera que no es fácil de recordar cómo se usa. El software CNC Fagor, contiene elementos y menús ocultos que dificultan la interacción y por dicho motivo, durante la ejecución de la primera tarea, los usuarios han llegado a cometer muchos errores. Aun así, la cantidad de fallos se ha visto reducida en las tareas posteriores, apreciándose que la aprendibilidad de los usuarios respecto a la utilización del software es alta. De esta forma, se concluye que aun existiendo evidencias de que la aprendibilidad del software es buena, los usuarios no lo perciben de tal manera debido a que la cantidad de errores y tiempo requerido para la consecución de la primera tarea es muy alta, afectando directamente en su percepción.

Tal y como se ha podido observar en el caso de estudio 1, se ha identificado que hay diferentes patrones de uso. Los usuarios tienen distintos tipos de conducta a la hora de interactuar con una interfaz. Algunos de ellos observan la pantalla y las funciones que ofrece la interfaz y otros por otra parte clican los elementos de la pantalla para lograr realizar las tareas encomendadas. Si comparamos por ejemplo los datos de los usuarios 6 y 10, podemos observar que el usuario 6 ha realizado 16 errores y ha necesitado 9 minutos y 20 segundos para finalizar la primera tarea, mientras que el usuario 10 ha realizado 36 errores en 7 minutos y 19 segundos que ha necesitado para terminar la tarea a realizar. Tras la experimentación, se aprecia que los usuarios que menos errores han cometido han necesitado más tiempo para la realización de las mismas. Además, en muchos de los casos, han pedido ayuda a los expertos que han llevado a cabo los testeos al inicio de los test. De esta forma se concluye de nuevo que no existe una relación directa entre la cantidad de errores y el tiempo de ejecución.

Por otra parte, el cuestionario USE recoge que el usuario que mejor ha valorado el software, ha puntuado con un 8.4 de nota sobre 10 la utilidad, un 5.41 la facilidad de uso, un 3.2 la aprendibilidad y 4.9 la satisfacción. Aun así, si observamos los tiempos que ha necesitado para completar la tarea 1, vemos que ha necesitado un 73.6 veces más de tiempo que el estimado. Esto indica que, aunque las valoraciones de utilidad y

facilidad de uso no sean tan malas, los tiempos de ejecución son considerablemente elevados en comparación a las referencias establecidas.

El usuario que menos tiempo ha necesitado para completar la primera tarea encomendada, ha necesitado 17 veces más de tiempo que el estimado. Aun así, se ve que los usuarios aprenden a usar el software tras el uso continuado del sistema, ya que la ejecución de la segunda tarea se realiza de forma más intuitiva, siendo la relación del tiempo estimado y el real menor que en la primera tarea. La persona que más tiempo ha necesitado, ha tardado 7 veces más de lo estimado. Además, se observa que la tendencia a realizar errores disminuye debido al conocimiento del software.

Si comparamos el valor de ajuste TTF con los valores recogidos durante las experimentaciones, se observa que cuando el porcentaje de ajuste es inferior al 20%, los resultados del cuestionario USE logran resultados inferiores a 4 puntos sobre 10 en cada una de las métricas.

Mediante este tercer caso de estudio se han podido validar parcialmente las hipótesis 1 y 3. Por una parte, se ha observado que el valor de ajuste TTF influye en el tiempo de realización de las tareas, el ratio de errores y las valoraciones de la UX, mejorando dichas métricas cuanto mayor es el valor de ajuste TTF. Por otra parte, se ha podido validar parcialmente la hipótesis 3, ya que se ha observado que con un valor de ajuste TTF bajo (18.4%) la interfaz no ha sido percibida como útil y fácil de usar, exigiendo esfuerzo para poder utilizarlo y generando desconformidad en los usuarios.

Por otra parte, en cuanto a los objetivos a cumplir, este caso de estudio ha contribuido en el conocimiento para la definición del modelo holístico y el indicador del desempeño debido a que se han obtenido los resultados de 20 usuarios. Aun así, se deben llevar a cabo más casos de estudio con el objetivo de validar completamente las hipótesis planteadas. Además, sería interesante analizar el uso de las interfaces digitales en diversos contextos y situaciones.

4.2.4 CASO DE ESTUDIO 4 – INNGUMA

Este cuarto caso de estudio pretende validar las Hipótesis 1 y 3 y cumplir con los objetivos 1 y 3 junto a los sub-objetivos 1.1, 1.2, 1.3 y 3.1. La experimentación se llevará a cabo con el software Innguma (Innguma Technologies SLU, 2018).

4.2.4.1 Software evaluado

El software analizado es la solución de inteligencia competitiva Innguma Technologies SLU. Se trata de una plataforma para captura y filtrado de la información, de forma que el usuario recibe la información que es de su interés. El software ofrece funcionalidades muy interesantes para las compañías debido a que potencia la actividad de vigilancia competitiva y propiedad intelectual, ofreciendo procesos más eficientes. Para la consecución de la experimentación, se han utilizado dos versiones del mismo software: V-A (Figura 51) y V-B (Figura 52).

Las dos versiones tienen la misma funcionalidad, pero cuentan con ciertas diferencias más allá de lo estético. Estas diferencias han sido agrupadas siguiendo la siguiente agrupación de los principios heurísticos: (i) Aspectos generales, (ii) confianza y credibilidad, (iii) navegación y arquitectura de la información, (iv) control y feedback, (v) maquetación y diseño gráfico y (vi) tolerancia a errores (Lasa et al., 2017). Las diferencias entre las dos versiones de software se redactan a continuación:

En términos generales, la V-B traslada su propósito de forma más clara y obvia que la V-A. Dicha razón facilita que los usuarios que utilizan la solución V-B por primera vez, necesiten de menos asistencia para llevar a cabo la mayoría de tareas. Por su parte, las características clave funcionan bien, sin existencia de errores e informando mediante feedback el estado de las acciones.

En lo que a la confianza y credibilidad respecta, las dos soluciones muestran un contenido actualizado, autorizado y fiable. Aun así, en la V-B, se han eliminado notificaciones de tipo “pop-up” de forma que el usuario se sienta más cómodo durante la interacción con el software. A su vez, la V-B integra elementos de contacto para casos de asistencia técnica. Por otra parte, el lenguaje utilizado es amigable, familiar y cercano, y el usuario es informado de cualquier incidente que ocurre en la solución. Además, la V-B ha sido diseñada siguiendo las directrices que establece Google en su librería de Material Design. Debido a que el usuario está familiarizado con los elementos propuestos por Google, gana en confianza y la plataforma mejora su credibilidad.

La navegación y arquitectura de la información es más obvia y conveniente en la V-B que en la V-A, siendo más fácil, accesible y navegable. Las opciones de navegación y menú de la V-B están ordenadas de manera más lógica y orientadas a la consecución de tareas. A su vez, la V-B permite deshacer la navegación y permite un acceso rápido a los contenidos más utilizados.

En términos de control y feedback, con la V-B, se ha sumado más control del usuario sobre la interfaz mediante la eliminación de pop-ups que toman el control de la pantalla en la V-A. Las confirmaciones de avisos y notificaciones son breves y claras y la solución provee feedback añadiendo interacción a los elementos e informar sobre estados del sistema.

La maquetación y el diseño gráfico de la V-B tiene una mayor claridad, el contenido se transmite de manera precisa, de forma que esto evita que el usuario cometa errores durante la interacción con la plataforma y mejore la UX. Además, es más consistente, haciendo uso de mismos elementos y patrones para cada una de las secciones.

Respecto a la tolerancia a errores, la V-B es más legible ya que se han integrado espacios en blanco y el lenguaje sencillo utilizado permite mejorar la lectura. De esta manera es más fácil procesar toda la información y entender rápidamente las diversas funciones que posee la interfaz. Por otra parte, el software V-B muestra de forma clara la existencia de errores y tiene mayor flexibilidad de plataforma. Se han añadido botones que ayudan a deshacer las acciones erróneas y sugieren la causa del problema.

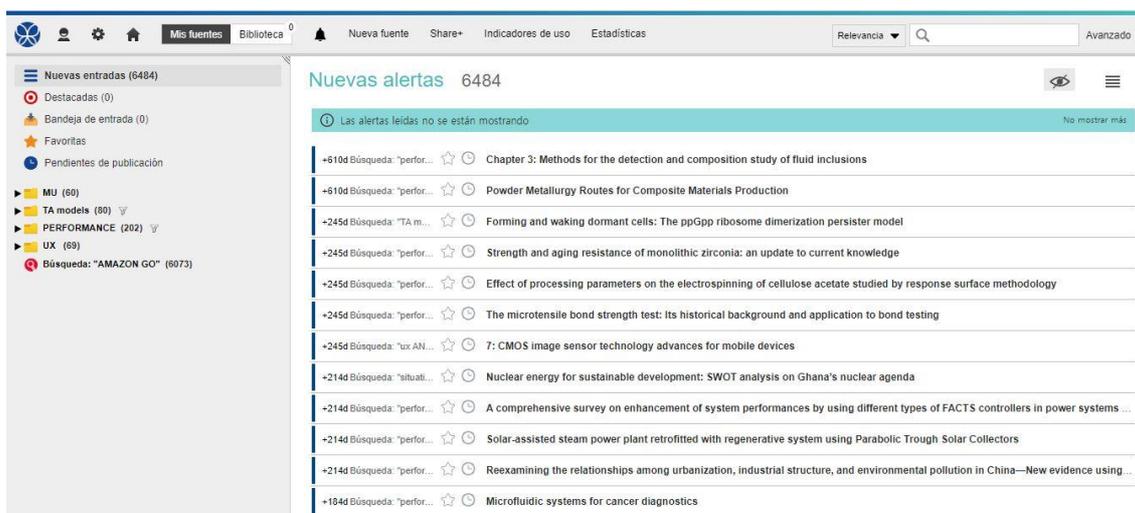


Figura 51: Interfaz V-A

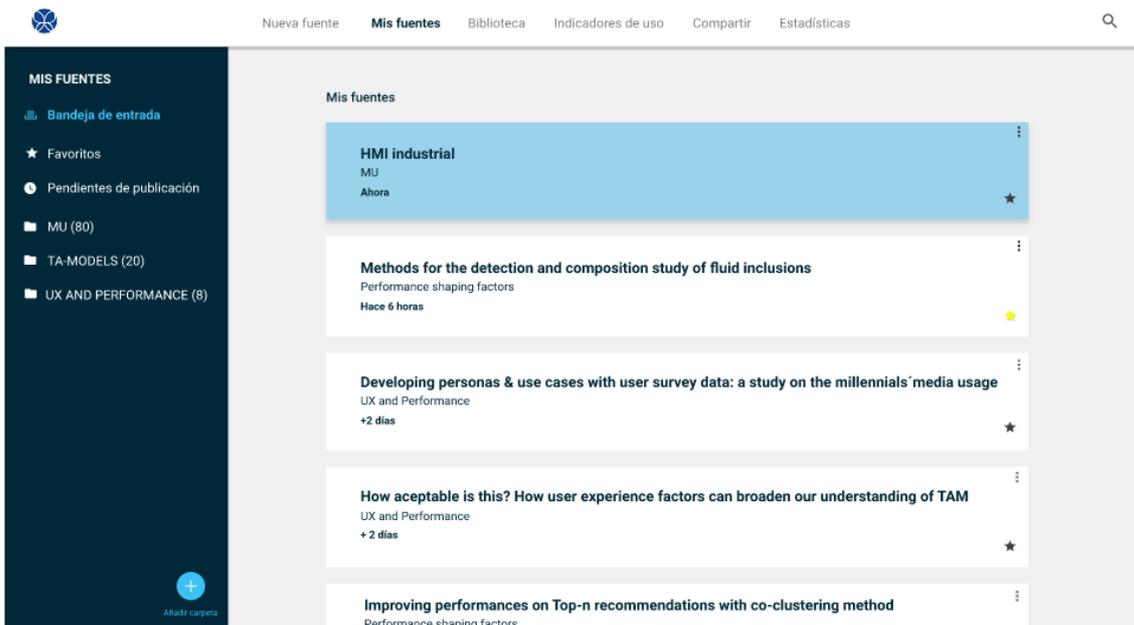


Figura 52: Interfaz V-B

4.2.4.2 Contexto de evaluación

El estudio se ha llevado a cabo en el laboratorio de usabilidad ULAB de Mondragon Unibersitatea. En el caso concreto de Innguma, aun siendo un software con aplicación industrial, los usuarios de dicha solución son personas que trabajan en oficinas. Por dicho motivo, el caso de estudio ha sido realizado en un contexto similar al uso real, aun siendo un espacio controlado y preparado específicamente para el estudio. El software se ha mostrado en un PC y la interacción ha sido mediante el uso del ratón.

En esta experimentación, la actividad se ha monitorizado mediante el Eye Tracker Tobii X2-30 (Tobiipro, 2018). Además, se ha utilizado el dispositivo EEG Diadem EC de Bitbrain (Bitbrain, 2019) para registrar la actividad eléctrica del cerebro. La DiademEC es una tecnología que permite capturar el comportamiento natural de las personas colocando sensores en el cuero cabelludo. Con él, se miden métricas como la (i) valencia afectiva la (ii) probabilidad de memorización, el (iii) grado de atención y el (iv) relevancia personal (*engagement*). El uso del EEG se ha debido al interés en comparar los resultados ofrecidos por los propios usuarios mediante el cuestionario USE y las respuestas fisiológicas reales tomadas mediante el equipamiento.

Para procesar la información recogida por la DiademEC, se ha hecho uso del software de investigación del comportamiento humano SennsLab (Bitbrain, 2019). El software

integra todo el proyecto, desde el diseño experimental hasta la recopilación y exportación de datos para un análisis completo.

4.2.4.3 Muestra

El testeo se ha llevado a cabo con 10 personas (6 mujeres y 4 hombres) con edades comprendidas entre 20 y 30 años. Todas las personas que han participado son estudiantes universitarios y utilizan tecnologías de uso diario con asiduidad, siendo usuarios potenciales del software a analizar. La participación ha sido voluntaria en cada uno de los estudios. Además, se ha contado con la ayuda de un evaluador experto para la compleción del listado de verificación.

4.2.4.4 Procedimiento y metodología

Tal y como se ha realizado en los casos de estudio previos, en esta experimentación, se ha utilizado el mismo enfoque multimétodo a fin de comprender en qué medida afectan las diferencias de diseño del software en la adopción de las soluciones, la consecución de tareas y la UX. Así, mediante un enfoque holístico, la investigación se ha llevado a cabo considerando datos de diversa naturaleza, tales como; valores pragmáticos, valores de percepción y valores biométricos.

Se ha repetido el mismo procedimiento seguido hasta ahora en las experimentaciones previas. Primero, se ha calculado el valor de ajuste TTF por parte del evaluador experto. En este caso, tampoco se han podido cumplimentar todos los ítems del listado de verificación, por lo que los datos se han recogido en porcentajes. Tras ello, se han definido las tareas a ejecutar por los participantes y se ha realizado la estimación GOMS, el cual predice la realización de tareas sin errores por parte de expertos. Sumando los tiempos de pulsación de teclas y el conjunto de operaciones, se han totalizado los tiempos de ejecución para los operadores individuales. De esta forma, se ha podido obtener la predicción del tiempo para la realización de cada tarea.

Tras garantizar la fiabilidad de la prueba, se ha seleccionado la muestra. Por otra parte, se ha preparado el laboratorio ULAB con el material y equipamiento a utilizar. En este caso la actividad se ha monitorizado mediante el Eye Tracker Tobii X2-30 (Tobiipro, 2018) y la utilización del EEG, siendo el punto diferencial de este caso de estudio, puesto que las variables biométricas se han recogido mediante la evaluación fisiológica que estudia el funcionamiento del sistema nervioso a través del registro de la actividad eléctrica del encéfalo. En primer lugar, para poder proceder a la prueba y evaluar a los participantes, se ha colocado la DiademEC (Bitbrain, 2019), fijando en el cuero cabelludo todos los sensores que permiten registrar la actividad cerebral. Una

vez colocados los sensores y que el software SennsLab (Bitbrain, 2019) indique que las señales se están recogiendo adecuadamente, se ha procedido a la medición, registrando en primer lugar el ritmo basal del usuario con los ojos cerrados y abiertos. A continuación, se han testado las reacciones de la actividad cerebral de cada usuario. Para ello, se provocan estimulaciones mediante la realización de actividades mentales para calibrar los valores. Con estas mediciones, se han obtenido una serie de resultados que indican las reacciones del sistema nervioso frente a estímulos. Una vez calibrada la Diadem EC, se ha procedido a monitorizar la actividad mediante el Eye Tracker Tobii X2-30 (Tobiiipro, 2018). De esta manera, se han podido recoger de forma más precisa los tiempos de ejecución y los errores realizados por cada uno de los usuarios en cada tarea.

La experimentación ha estado guiada por un facilitador, mientras que otra persona ha realizado las labores de observación. Antes de comenzar con la ejecución de tareas, los participantes han tenido un minuto para interactuar con el software y reconocer las funcionalidades principales. Tras ello, los usuarios han procedido a la realización de las tareas encomendadas de forma autónoma. Para ello, han tenido a presente una hoja con la descripción de las tareas a realizar. Finalmente, se han recogido las evaluaciones mediante el cuestionario USE para su posterior análisis junto al resto de resultados.

El experimento se ha dividido en dos procedimientos (I y II) donde las personas usuarias han tenido que realizar 3 mismas tareas con cada software en cada procedimiento. Para que el orden de uso no interfiera en los resultados, la mitad de la muestra ha comenzado el primer procedimiento utilizando la V-A del software y la otra mitad ha utilizado primero la V-B (Tabla 36).

Tabla 36: Procedimientos establecidos para la experimentación

Procedimiento	Secuencia	Participantes
I	V-A y V-B	1-5
II	V-B y V-A	6-10

Las 3 tareas ejecutadas por los usuarios han sido las siguientes (Tabla 37).

Tabla 37: Tareas a realizar en el software Innguma

Tarea	Descripción
Tarea 1	Crear una nueva fuente con la palabra "HMI industrial" en iEEE y guardar en la carpeta MU
Tarea 2	Compartir la fuente "Building the big data application" internamente con otro usuario.
Tarea 3	Encontrar quién es la persona que más contenido ha compartido desde el 5 hasta el 17 de enero de enero del 2020

4.2.4.5 Resultados

En este apartado se recogen los resultados obtenidos del cuarto caso de estudio. Se han analizado los datos obtenidos de (i) la lista de verificación en términos del valor de Ajuste TTF, los resultados obtenidos de (ii) la observación realizada para analizar la ejecución de tareas mediante el método adaptado GOMS y el EEG, y por último los resultados obtenidos del (iii) el cuestionario USE, cumplimentado por los usuarios.

Listado de verificación

En este caso, tal y como se ha realizado en los casos de estudio previos, los items del listado de verificación se han agrupado en tres grupos (i) gestionar ficheros, (ii) introducción de parámetros y (iii) ejecución. Aunque se hayan mantenido los tres bloques principales, en el caso concreto del software Innguma, la sección se "ejecución" se ha relacionado con el proceso de Vigilancia Competitiva. Tras cumplimentar el listado de verificación, se ha obtenido que el software V-A cumple en un 66,21 % con los requisitos de ajuste entre las demandas de la tarea y las capacidades del sistema, frente al 93,24% de la V-B

Cabe destacar que no todos los ítems del listado de verificación proceden, por lo que los datos se han recogido en porcentajes.

Resultados pragmáticos

Si se analizan los valores absolutos sin tener en cuenta el orden de uso de los softwares, los resultados muestran que los usuarios han necesitado menos tiempo para la consecución de las mismas tareas en la V-B. Además, la cantidad de errores también se ve reducido en la V-B respecto al V-A (Tabla 38).

Tabla 38: Comparación general del tiempo estimado, tiempo real y errores.

	Tarea 1 V- A	Tarea 1 V-B	Tarea 2 V-A	Tarea 2 V- B	Tarea 3 V-A	Tarea 3 V-B
Tiempo estimado	00:00:13	00:00:08	00:00:26	00:00:26	00:00:10	00:00:09
Tiempo real	00:02:42	00:01:00	00:01:43	00:01:29	00:01:48	00:00:37
Errores	14	3,4	6,5	8,2	9,8	1

Si se analizan los resultados teniendo en cuenta el orden de las versiones, en el procedimiento I, todos los usuarios han necesitado más tiempo de ejecución en la V-A que en la V-B para realizar las mismas tareas (Figura 53). En relación al tiempo estimado y el real para la ejecución de cada tarea, el usuario que más tiempo ha necesitado ha realizado la tarea 1 en 06:18 minutos (00:13 tiempo estimado), necesitando 05:20 minutos (00:26 tiempo estimado) para la finalización de la segunda actividad y 02:21 minutos (00:10 tiempo estimado) para la tercera. El usuario que menos tiempo ha requerido, ha necesitado 3.14 veces más de los estimado para finalizar la tarea 1, 2.54 veces más de tiempo para la segunda y 2.92 veces más de tiempo para la tercera tarea. Esto supone que el tiempo de realización de las actividades dista mucho del estimado.

En cuanto a errores, para la tarea 1 se han producido hasta 33 fallos, para la ejecución de la segunda tarea 14 y 21 para la última.

Los resultados de la Figura 53 muestran la tendencia a disminuir el tiempo de ejecución y errores a medida que los usuarios han ido completando las tareas. Esto

demuestra que la aprendibilidad del programa es alta. Si se observa el tiempo de consecución de tareas en la V-B, se puede observar que la tendencia a disminuir el tiempo de ejecución también es visible.

Por otra parte, se manifiesta que los usuarios necesitan menos tiempo para completar las tareas y cometen menos errores cuando realizan las mismas en el procedimiento II. Los mismos usuarios han tardado 00:35 segundos en ejecutar la primera tarea (00:08 tiempo estimado), 01:02 para la segunda (00:26 estimados) y 01:18 para finalizar la tercera tarea (Figura 53).

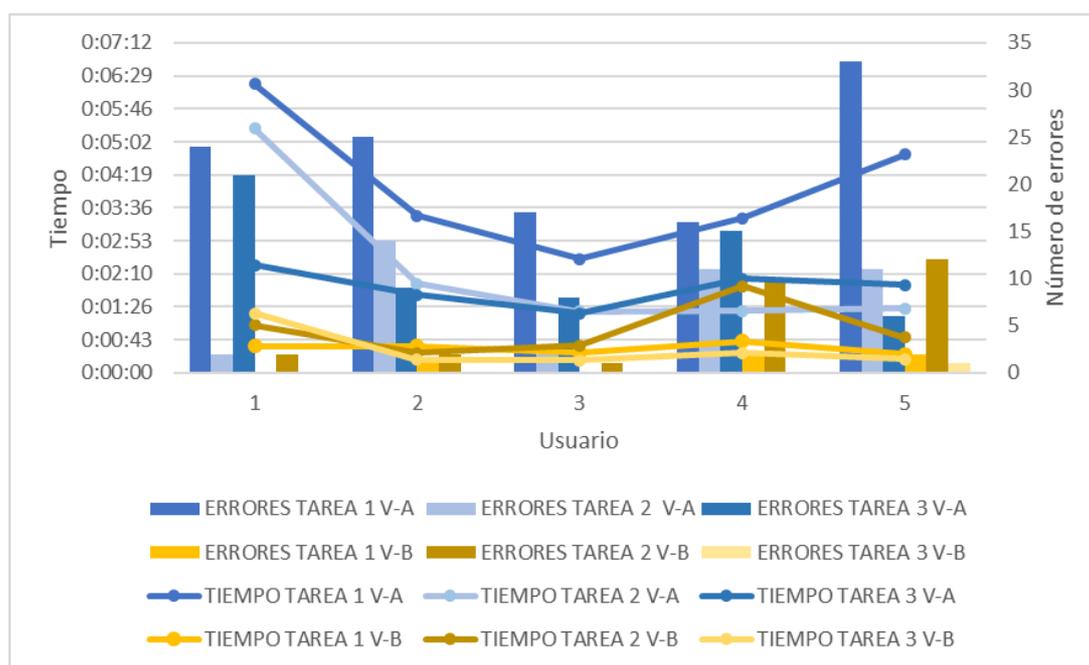


Figura 53: Comparación de tiempo entre V- A y V- B en el procedimiento I.

Si observamos los resultados de los usuarios en el procedimiento II (Figura 54), las personas que más han tardado para realizar las tareas en la misma, han necesitado 02:05 minutos para ejecutar la primera (00:08 tiempo estimado), 03:15 minutos para la segunda tarea (00:26 tiempo estimado) y 01:18 minutos para terminar la tercera tarea (00:09 tiempo estimado). Aunque los tiempos de ejecución de tareas en la V-A hayan disminuido en el procedimiento II, el mismo usuario que ha necesitado 01:35 minutos para terminar la primera tarea en la V-B, ha necesitado 03:15 en la V-A. Además, ha realizado 7 errores en la V-B frente a los 23 que ha realizado en la V-A.

En cuanto a errores, para la primera tarea se han cometido 10 errores como máximo, 24 para la segunda y 4 para la última. Aun así, cabe señalar que la cantidad de errores

ha disminuido señaladamente durante la ejecución de la última tarea. Es por ello que se demuestra la adaptabilidad de los usuarios a la interfaz, mostrando una aprendibilidad considerablemente buena.

Si comparamos los tiempos de ejecución de las tareas en las dos versiones con el procedimiento II, se observa que los usuarios han necesitado más tiempo en la V-B para la consecución de las actividades 1 y 2. Por el contrario, para la tarea 3, el tiempo de ejecución en la V-B es menor que en la V-A. Esto indica que la aprendibilidad de la versión B es mejor que la de la A, ya que, aun siendo utilizado en primer lugar, los resultados son mejores para la consecución de la última tarea.

La Figura 54 muestra que, en el procedimiento II, los usuarios cometen más errores a excepción del primer usuario.

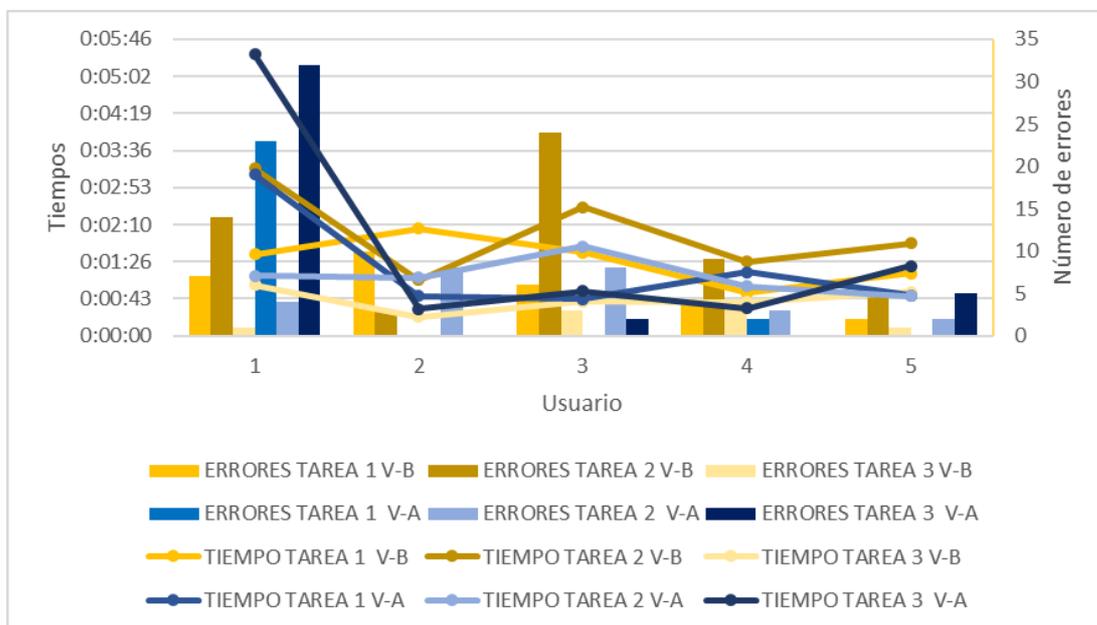


Figura 54: Comparación de tiempo entre Versión A y Versión B en el procedimiento II.

Si se comparan la Figura 53 y Figura 54, se observa que el factor de orden altera los resultados durante la realización de las tareas. En cualquiera de los procedimientos se observa que el software que se utiliza en segundo lugar, recoge resultados mejores que al ser utilizado en primer lugar. Aun así, los resultados siguen siendo mejores para la V-B que para la V-A. La Figura 53 plasma la diferencia de tiempos para la realización de las mismas tareas por cada usuario, recogiendo que los usuarios han necesitado mucho más tiempo para ejecutar las mismas tareas en la V-A que en la V-B. Se observa también que la cantidad de errores de la V-B ha descendido considerablemente en el procedimiento I. En la Figura 54 por su parte, se visualiza

que la diferencia de tiempos de ejecución es menor entre las dos versiones. En cuanto a errores, se observa que los errores en la V-A han disminuido en el procedimiento II, mostrándose la mejora durante la ejecución de tareas cuando ha sido utilizado en segundo lugar. Aun así, la diferencia de la cantidad de errores entre softwares es menor en el procedimiento II.

Resultado sobre la percepción de uso mediante el Cuestionario USE

La Tabla 39 muestra los valores recogidos en el cuestionario USE. Se puede apreciar que el factor de orden tiene efectos en la puntuación obtenida para cada una de las dos versiones. En el procedimiento I, la V-A es valorada mejor que cuando ha sido utilizada en segundo lugar y viceversa. De todas formas, tal y como indica la media recogida para cada interfaz, la V-B tiene una mejor valoración.

Tabla 39: Comparación de valores generales recogidos en el cuestionario USE

		VA	VB
Procedimiento I	Utilidad	6,9	8,43
	Facilidad de uso	6,1	8,4
	Aprendizaje	6,1	8,5
	Satisfacción	6,1	8,4
Procedimiento II	Utilidad	5,7	9,1
	Facilidad de uso	4,8	8,7
	Aprendizaje	6	8,8
	Satisfacción	4,7	9,2
Medias sin tener en cuenta el orden de uso	Utilidad	6,3	8,7
	Facilidad de uso	5,4	8,5
	Aprendizaje	6	8,7
	Satisfacción	5,4	8,8

En el procedimiento I todos los valores relacionados a la percepción de usuario son mejores para la V-B. Además, en el procedimiento II, las puntuaciones para la V-B son todavía más altas. La facilidad de uso, aprendibilidad y la satisfacción general de la V-A son los atributos que menos puntuación han recibido en el procedimiento I, con la misma puntuación media de 6.1 (Figura 55).

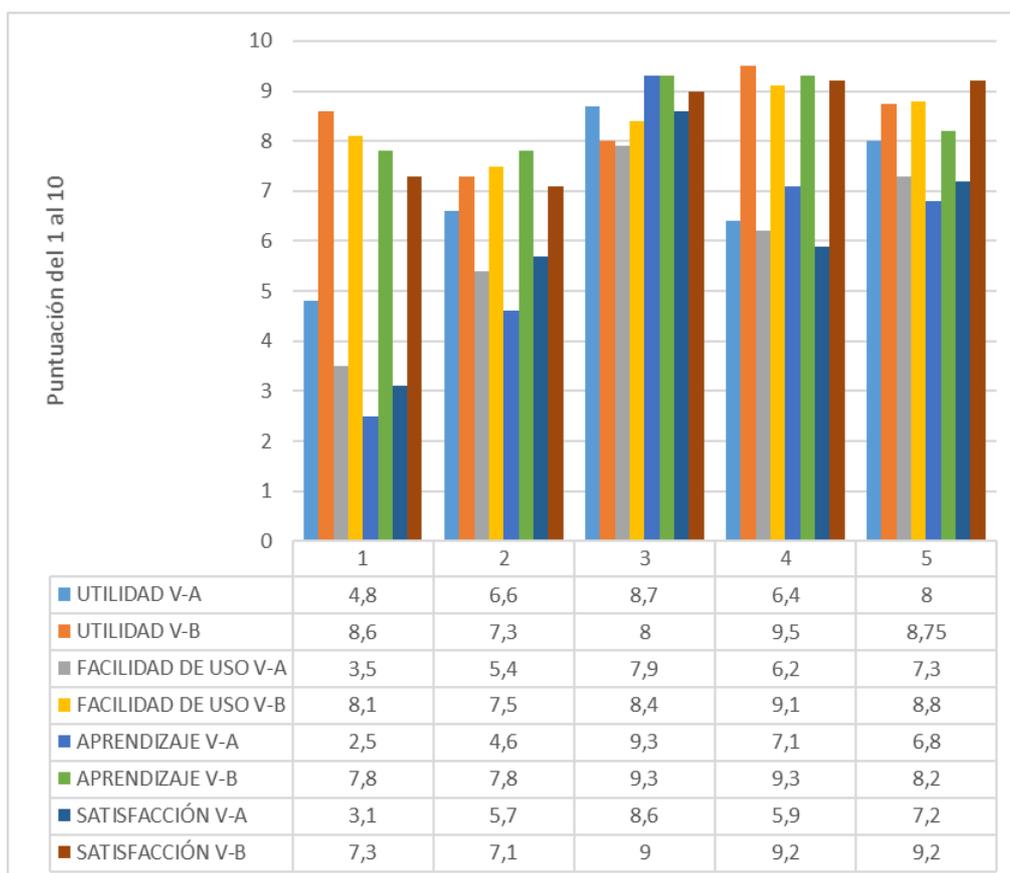


Figura 55: Resultados comparativos del cuestionario USE para el procedimiento I.

La Figura 56 muestra que todos los usuarios han valorado mejor la V-B en el procedimiento II. Los usuarios han valorado la facilidad de uso y la satisfacción de la V-A con menos de 5 puntos de media, frente a 9.1 y 9.2 de votos que han ofrecido los mismos usuarios para los mismos atributos de la V-B.

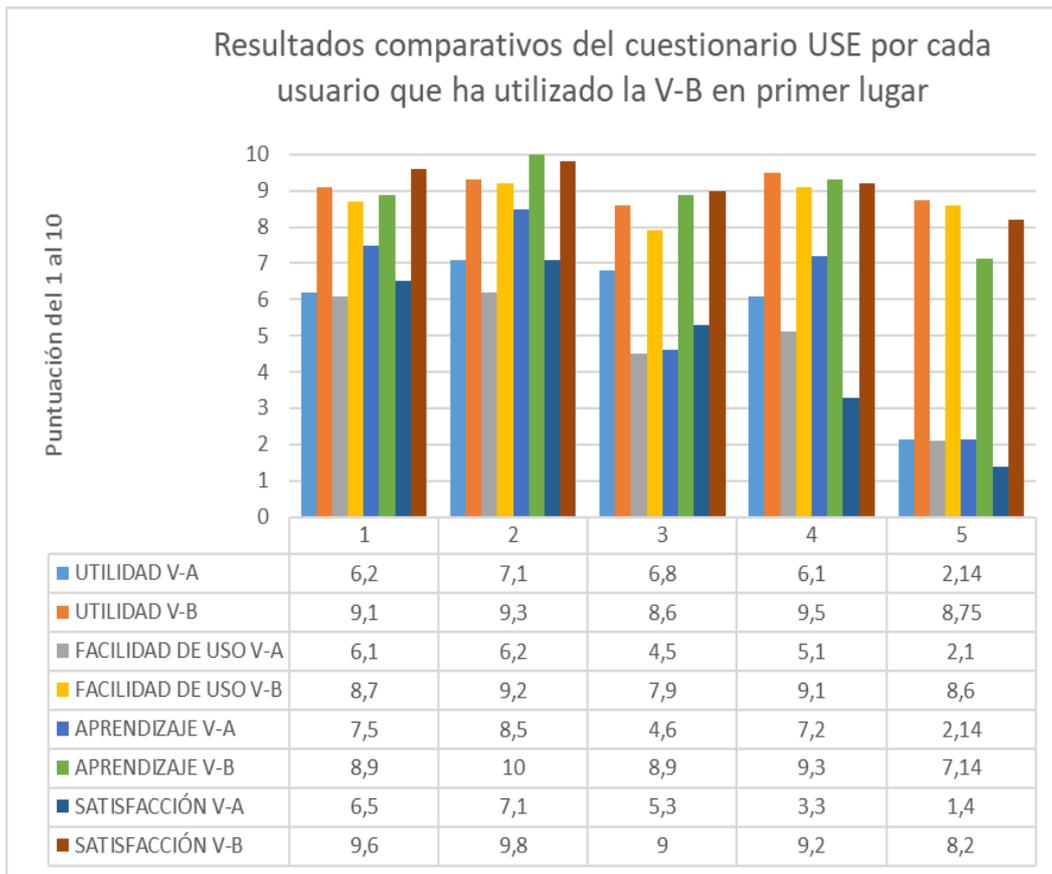


Figura 56: Resultados comparativos del cuestionario USE por cada usuario que ha utilizado la V-B en primer lugar

Resultados biométricos

Los datos obtenidos en la experimentación mediante la tecnología EEG y sin tener en cuenta el orden de uso (Figura 57), demuestran que las dos interfaces tienen valencias negativas, lo cual indica que la atracción experimentada no es elevada. En cuanto al indicador de atención, aunque los resultados globales sean similares, los usuarios han centrado más la atención en la V-A. Por otra parte, la experimentación demuestra que la V-B consigue valores de relevancia personal más elevados que la V-A. En cuanto a memorización, se observa que los datos son más elevados en la V-A, por lo que los usuarios han sufrido más intensidad en los procesos cognitivos, almacenando y reteniendo más información en la memoria.

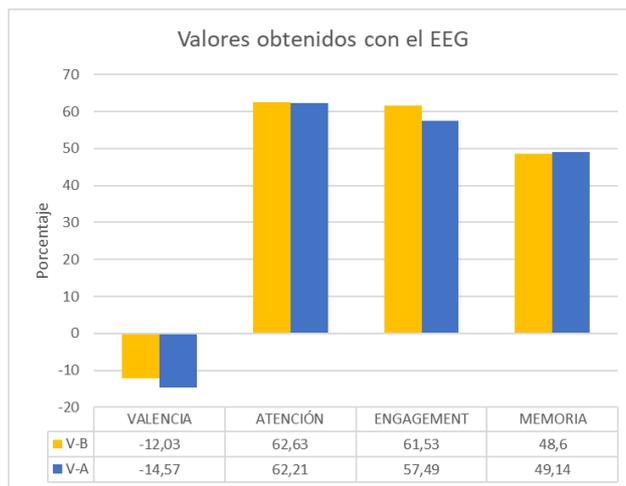


Figura 57: Medias de las métricas EEG sin tener en cuenta el factor de orden

Sin embargo, si se considera el orden de uso, en el procedimiento I, los usuarios han puesto de media más atención en la V-B, necesitando menos tiempo para la consecución de las tareas y necesitando mayor uso de memoria. La métrica de valencia, ha obtenido resultados medios negativos en las dos interfaces, pero los resultados han sido algo más positivos para la V-B. En cuanto a la relevancia personal en el procedimiento I, los usuarios han valorado con menor puntuación media la V-B. Se ve una notable diferencia en los valores de tiempo de ejecución de tareas, siendo mucho menor en la V-B (Tabla 40).

Tabla 40: Resultados EEG para el procedimiento I

Procedimiento I	Valencia	Atención	Relevancia personal	Memoria	Tiempo
Media V-A	-8,09	61,56	58,75	46,55	420,94
Media V-B	-5,91	68,03	51,51	50,11	130,94

Por su parte, para el procedimiento II, se observa que el promedio de puntuación obtenido en cada una de las métricas es más alto en la V-B que las medias obtenidas por la V-A (Tabla 41). Aun así, la media de tiempo de la V-B también incrementa

respecto al procedimiento I. Cabe destacar que el indicador de relevancia personal de la V-B ha mejorado sus valores en el procedimiento II.

Tabla 41: Resultados EEG para el procedimiento II.

Procedimiento II	Valencia	Atención	Relevancia personal	Memoria	Tiempo
Media V-B	-10,77	59,52	62,71	48,60	262,76
Media V-A	-17,14	53,28	58,40	42,80	269,18

4.2.4.6 Conclusiones

En este caso de estudio se ha podido analizar el impacto que tienen la implementación de diversas características de diseño y la familiarización por el orden de uso que refuerzan la UX, en la apropiación del software analizado. Se considera que el planteamiento propuesto es acertado ya que se ha podido realizar un análisis exhaustivo de la aceptación de cada versión del software, obteniendo información relevante sobre el objetivo propuesto.

Por un lado, los resultados recogidos indican que las interfaces diseñadas teniendo en cuenta la consecución de objetivos, orientadas a cubrir las necesidades de los usuarios y que siguen unos patrones establecidos de diseño ofreciendo una solución precisa y consistente, consiguen mejores resultados durante la ejecución de tareas. Además, son percibidos como más fáciles de usar, fáciles de aprender, usables y satisfactorios, exigiendo de menos memorización y atención.

Por otro lado, se ha observado que el factor de orden tiene consecuencias significativas durante la ejecución de las tareas y la valoración de los usuarios, por lo que se considera un factor clave en el campo de conocimiento de la UX en relación al análisis del proceso de aprendizaje y apropiación de soluciones digitales.

Los resultados muestran que la interfaz V-B permite trasladar su propósito de forma clara y obvia, mejorando la interacción con los usuarios y permitiendo que cometan menos errores que en la V-A. A su vez, la V-B ofrece una navegación conveniente y orientada a la consecución de tareas, lo cual agudiza la interacción, permitiendo que

las actividades se finalicen antes. Además, aunque los usuarios hayan tardado más tiempo del estimado para la consecución de las tareas en cualquiera de las versiones, el tiempo de realización de las actividades ha disminuido considerablemente en la V-B. La familiarización con el diseño de la plataforma y la consistencia mostrada por la solución V-B ayuda a los usuarios a identificar los patrones de interacción y entender rápidamente las funciones que posee, contribuyendo a la disminución de cantidad de errores. La cantidad de errores ha sido considerablemente menor en la V-B que en la V-A. Si se comparan los resultados pragmáticos junto a las valoraciones de percepción ofrecidas por los participantes, los datos muestran que, a pesar de cometer errores, la experiencia de uso con la V-B es satisfactoria. Asimismo, el análisis realizado mediante la observación, el recuento de errores y la medición de tiempo de actividad, demuestran que los resultados son mejores en la V-B.

Por otra parte, se ha observado que independientemente del orden y la aprendibilidad que este hecho conlleva, el diseño de la interfaz V-B facilita la interacción y por consiguiente mejora la experiencia de usuario.

A pesar de los valores pragmáticos y de percepción, los datos biométricos demuestran que los valores medios recogidos para la V-B no difieren demasiado de los valores obtenidos por la V-A. Las métricas que más diferencia de valores han tenido en las dos versiones, han sido la valencia y la relevancia personal. Aun así, se aprecia que sin tener en cuenta el factor de orden, la V-B consigue valores más elevados de relevancia personal lo cual justifica las valoraciones de satisfacción general ofrecidas por los usuarios tras completar el cuestionario USE. Por otra parte, aunque las valencias recogidas sean negativas, los valores obtenidos del cuestionario USE indican que la satisfacción general obtenida tras la realización de las tareas en la V-B es buena.

A su vez, las interfaces que no son claras, precisas y consistentes exigen más memorización, suponiendo mayor intensidad en los procesos cognitivos, almacenando y reteniendo más información en la memoria. Esto se puede relacionar con la facilidad de aprendizaje y la facilidad de uso, siendo valores más elevados para aprendibilidad y más bajos para la facilidad de uso de la V-A. Como el proceso ha sido más costoso y han tenido que realizar más interacciones para llegar a la consecución de las tareas en la V-A, los usuarios se han visto obligados a recorrer más apartados y retener más información en sus memorias.

En cuanto a atención, los resultados biométricos muestran que los valores de atención son similares para las dos versiones, aunque los usuarios hayan centrado más la

atención en la V-A. Aun así, si estos valores son comparados con los resultados recogidos del cuestionario USE, se observa que, aunque la facilidad de uso percibida por los usuarios en la V-A sea mucho mejor, la utilización de los recursos cognitivos que ha supuesto a los usuarios es similar en la V-B y la V-A.

En definitiva, si se comparan los datos pragmáticos con los valores de percepción y los valores biométricos obtenidos con el EEG, se observa que la interfaz orientada a la consecución de objetivos tiene un impacto positivo en cada una de las variables a analizar, mejorando la aceptación tecnológica de los usuarios frente la citada interfaz.

En esta línea, en términos de aceptación tecnológica, se ha observado que un diseño que transmite confianza, facilita la navegación, ofrece control y feedback sobre las acciones, provee de una estética clara, precisa y coherente, y que además es tolerante a errores, ayuda a que la tecnología sea apropiada de forma más rápida. De esta manera, la consecución de tareas se realiza de forma más intuitiva, los usuarios se sienten más seguros y son capaces de ejecutar las actividades en menor tiempo y con menos errores.

Asimismo, se percibe que cuanto más precisa sea la forma en que se presenta el contenido, los usuarios apropian mejor la tecnología, ya que entienden la funcionalidad de la plataforma de manera intuitiva y perciben más confianza hacia la solución digital. Esto ayuda a que el usuario cometa menos errores, mejorando su percepción sobre la usabilidad.

Por otra parte, la consistencia mantenida en la V-B ha facilitado a los usuarios situarse en diversas pantallas de la interfaz y navegar de una forma más fluida. La repetición de los patrones por su parte, ha facilitado la realización de las tareas debido a que este hecho ayuda a mejorar la aprendibilidad.

En cuanto a las características para mejorar la legibilidad, se ha obtenido que los espacios en blanco y el lenguaje sencillo permiten facilitar la lectura y transmitir cercanía al usuario. Así, procesan la información rápidamente y los participantes son capaces de interactuar de forma más fluida con la solución digital. El uso de la librería de Material Design ha ayudado a los usuarios a sentirse más cómodos debido a que las directrices establecidas por Google son familiares para ellos. Además, la línea estética ha causado una buena impresión, por lo que los usuarios han valorado la V-B como más satisfactoria que la V-A.

En cuanto al factor de alteración del orden, se aprecia que en el procedimiento II, los usuarios realizan las tareas de forma más rápida y con menos errores que en el procedimiento I. El factor de aprendibilidad es la clave para describir este fenómeno.

Aunque el diseño de las dos versiones sea distinto, la funcionalidad y los pasos a seguir para realizar las tareas encomendadas se repite en cada una de las versiones. Es por dicha razón que los usuarios se sienten más familiarizados y realizan las tareas con más agilidad en la V-A cuando es utilizado en segundo lugar en comparación al tiempo que necesitan cuando dicha interfaz ha sido utilizada con anterioridad. A pesar de ello, si se analizan las valoraciones de percepción de los usuarios tras el procedimiento II, se observa que las puntuaciones son menores respecto a cuándo han realizado el procedimiento I, siendo el factor de aprendizaje la métrica mejor valorada por los usuarios. Por su parte, mediante la tecnología EEG se recoge que para la V-B, los valores mínimos obtenidos son más elevados cuando ha sido utilizado en segundo lugar, a excepción del valor de relevancia personal, el cual es mayor cuando ha precedido su uso. Esto indica que la memorización y la atención puesta en la V-B se ha visto reducida en el procedimiento I, lo cual puede deberse al factor de aprendibilidad, puesto que los usuarios han utilizado la V-A con antelación y el hecho de conocer los pasos a seguir a relajado la atención y memoria de dichos usuarios. Por otra parte, que el valor de relevancia personal se vea incrementado puede deberse a que la impresión generada por la V-B haya sorprendido gratamente a los usuarios.

Aunque no ha sido objeto de estudio de esta investigación durante el análisis de los resultados se ha observado que existen ciertas diferencias desde el punto de vista de género referidas al tiempo de consecución de tareas. Es por ello que se considera interesante abordar las relaciones entre las métricas de atención, memorización, relevancia personal y valencia con el tiempo de realización de tareas y la adopción de interfaces manteniendo la perspectiva de género. Este tipo de aproximaciones pueden ayudar a entender y disminuir o paliar las consecuencias derivadas de brecha digital de género.

Debido a que este cuarto caso de estudio fortalece las hipótesis planteadas, las hipótesis 1 y 3 se dan por validadas. Por una parte, se ha observado que el valor de ajuste TTF influye en el tiempo de realización de las tareas, el ratio de errores y las valoraciones de la UX, mejorando dichas métricas cuanto mayor es el valor de ajuste TTF. Por otra parte, se ha podido validar parcialmente la hipótesis 3, ya que se ha podido observar que un valor de ajuste TTF mayor, ayuda a que las interfaces sean percibidas como útiles y fáciles de usar, exigiendo menos esfuerzo para aprender a utilizarlos, generando mayor satisfacción en el usuario, aumentando su intención continuada de uso y mejorando la experiencia de usuario.

Por otra parte, en cuanto a los objetivos a cumplir, este caso de estudio ha contribuido en el conocimiento para la definición del modelo holístico. Se han podido obtener resultados de 10 personas para analizar la relación entre el valor de ajuste TTF y el proceso de ejecución de tareas además de su impacto en la UX. Por otra parte, este estudio ha ayudado a obtener resultados para la creación del indicador del desempeño.

4.2.5 CASO DE ESTUDIO 5 - CITYFIED

Este quinto caso de estudio pretende validar las Hipótesis 3 y 4 y cumplir con los objetivos 3 y 4 junto al sub-objetivos 3.1. La experimentación se llevará a cabo con el software CITYFIED (Cityfied, 2019), teniendo como objetivo validar el modelo ITPX en una interfaz no industrial. Para ello, se han realizado una serie de modificaciones para evaluar el ajuste entre las demandas de la tarea y las capacidades del sistema. Esto es, la agrupación del listado de verificación utilizada hasta ahora; (i) gestión de ficheros, (ii) introducción de parámetros y (iii) ejecución, se ha cambiado por la siguiente agrupación; (i) configuración de datos, (ii) interpretación de datos y (iii) búsqueda de información. Esta razón se ha debido a que las funcionalidades que ofrece el software de visualización de datos CITYFIED son distintas a las interfaces industriales analizadas anteriormente.

4.2.5.1 Software evaluado

La aplicación web CITYFIED es un software de visualización de datos, el cual permite consultar los datos energéticos recogidos por los sistemas de monitorización en el hogar. El desarrollo de la aplicación se enmarca dentro del proyecto europeo CITYFIED (<http://www.cityfied.eu/>), que tiene como propósito desarrollar una estrategia replicable, sistemática e integrada para adaptar ciudades europeas u ecosistemas urbanos en las ciudades inteligentes del futuro. Sigue la estrategia de reducir la demanda energética y las emisiones de gases de efecto invernadero, junto con el incremento del uso de fuentes de energías renovables

4.2.5.2 Muestra

Para la realización de los testeos, la muestra ha sido de 20 personas, del cual el 60% han sido mujeres y el 40% hombres. Los perfiles se han seleccionado en base al nivel de utilización y manejo de TIs tanto como su edad, comprendida entre 20-35 años. La participación de todas las personas ha sido voluntaria. Además, se ha contado con la participación de un un evaluador experto para la compleción del listado de verificación.

4.2.5.3 Contexto de evaluación

El estudio se ha llevado a cabo en el laboratorio de usabilidad ULAB de Mondragon Unibertsitatea. La aplicación web CITYFIED es una plataforma de uso doméstico y los usuarios reales interactúan con el software mediante una pantalla táctil. Por dicha razón y con el objetivo de simular el contexto de uso real durante la experimentación,

el software se ha mostrado en la pantalla Multi-Touch HANNSpree HT225HPB de 25". De esta forma, se ha simulado la interacción táctil de las instalaciones actuales del servicio en hogares.

4.2.5.4 Procedimiento y metodología

Aunque la experimentación con el software Cityfied difiere del resto de las experimentaciones previas debido a la naturaleza de su función, se ha utilizado el mismo enfoque multimétodo para su evaluación. El estudio se ha llevado a cabo analizando datos de diversa naturaleza, tales como; valores pragmáticos, valores de percepción y valores biométricos. Primero, se ha calculado el valor de ajuste TTF por parte del evaluador experto. En este caso, tampoco se han podido cumplimentar todos los ítems del listado de verificación, por lo que los datos se han recogido en porcentajes. Tras ello, se han definido las tareas a ejecutar por los participantes y se ha realizado la estimación GOMS, el cual predice la realización de tareas sin errores por parte de expertos. Sumando los tiempos de pulsación de teclas y el conjunto de operaciones, se han totalizado los tiempos de ejecución para los operadores individuales. De esta forma, se ha podido obtener la predicción del tiempo para la realización de cada tarea.

Con el objetivo de recoger la secuencia de actividades durante la tarea y los valores de tiempo y ratio de errores de una forma más automática, se ha diseñado un software específico para la recogida de datos. Éste, tiene dos funciones principales: (i) detectar los eventos interesantes que ocurren en la interfaz y (ii) almacenarlos en una Base de Datos para el posterior análisis de los datos recogidos. Debido a que la interfaz a estudiar está desarrollada en HTML, se le ha añadido un widget desarrollado en el lenguaje JavaScript. Este programa registra los eventos táctiles y es por ello que los operadores seleccionados para analizar las interacciones han sido los definidos por el modelo TLM (*Touch Level Model*) (Card et al., 1980). Para esta experimentación, debido a las características de la aplicación CITYFIED, los operadores recogidos como eventos han sido el *"tap"*, el *"swipe/scroll"* vertical y el *"swipe/scroll"* horizontal, despreciando la latencia del sistema. La información relacionada con los eventos se almacena en formato JSON, un formato estándar y ligero de intercambio de datos. Estos datos se envían a un servidor en tiempo real para que este los almacene en una Base de Datos documental (MongoDB) ("MongoDB," n.d.) para que posteriormente puedan ser analizados. Tras garantizar la fiabilidad de la prueba, se ha seleccionado la muestra.

Por otra parte, se ha preparado el laboratorio ULAB con el material y equipamiento a utilizar. En este caso la actividad se ha monitorizado mediante el Eye Tracker Tobii X2-30 (Tobiipro, 2018). Antes de comenzar con la ejecución de tareas, los participantes han tenido un minuto para interactuar con el software y reconocer las funcionalidades principales. Tras ello, los usuarios han procedido a la realización de las tareas encomendadas, 9 tareas de una elevada carga interpretativa. La experimentación ha estado guiada por un facilitador pero los participantes han tenido que realizar las tareas de forma autónoma. Para ello, han tenido presente una hoja con la descripción de las tareas a realizar. Finalmente, se han recogido las evaluaciones mediante el cuestionario USE para su posterior análisis junto al resto de resultados.

Las tareas a realizar han sido las nueve que se listan en la Tabla 42.

Tabla 42: Tareas a realizar en el software CITYFIED

Tarea	Descripción
Tarea 1	Cambia el idioma al castellano.
Tarea 2	¿Cuántos Kwh de consumo se estiman este mes?
Tarea 3	¿Qué consumo eléctrico se tuvo el mes de mayo 2018? (Resultado en €)
Tarea 4	¿Cuántos m ³ de agua se consumieron en el periodo entre septiembre – diciembre 2017?
Tarea 5	¿Cuál ha sido el último consejo termal que te ha proporcionado la aplicación?
Tarea 6	¿Qué mensaje recibiste el 18 de noviembre?
Tarea 7	¿Qué mes del último verano has tenido un mayor consumo del frigorífico?
Tarea 8	¿Qué consumo en € tuvo la secadora en febrero de 2018?

Tarea 9	Indica cuál de los cuatro electrodomésticos (Congelador, frigorífico, lavadora y secadora) ha tenido un pico de consumo durante el mes de septiembre y qué día fue.
---------	---

4.2.5.5 Resultados

En este apartado se recogen los resultados obtenidos del quinto caso de estudio. Se han analizado los datos obtenidos de (i) la lista de verificación en términos del valor de Ajuste TTF, los resultados obtenidos de (ii) la observación realizada para analizar la ejecución de tareas mediante el método adaptado GOMS, y por último los resultados obtenidos del (iii) el cuestionario USE, cumplimentado por los usuarios.

Listado de verificación

Tal y como se ha descrito, este caso de estudio ha sido realizado para validar el modelo ITPX en interfaces digitales de naturaleza no industrial. Para medir el Valor de ajuste TTF, se ha desarrollado un listado de verificación basado en los factores que determinan las características de la tarea y el software CITYFIED. La agrupación de los ítems se ha definido de la siguiente forma: (i) Configuración de datos, (ii) Interpretación de datos, y, por último, (iii) Búsqueda de información. El resultado obtenido tras la evaluación de la interfaz de visualización de datos, cumple en un 47,7% el total de los ítems que componen el listado de verificación. La modificación del listado de verificación se recoge en los anexos (Apartado 6.3).

Cabe destacar que no todos los ítems del listado de verificación proceden, por lo que los datos se han recogido en porcentajes.

Resultados pragmáticos

Los resultados obtenidos durante la ejecución de tarea se recogen en base al tiempo de ejecución de tareas y el ratio de errores.

Los resultados muestran que, en el cómputo total de tareas ejecutadas por los usuarios, el 97,2% ha superado el tiempo de ejecución estimado. El tiempo estimado para la realización del test ha sido de 2'34'', mientras que la media del tiempo real que han requerido los usuarios para la ejecución de todas las tareas, ha sido de 11'32''. La Figura 58 muestra los tiempos que han necesitado cada uno de los usuarios para realizar cada una de las 9 tareas. Mediante la línea más gruesa, se

visualiza el tiempo estimado, siendo el resto de las líneas los correspondientes al tiempo de ejecución real de cada usuario.

En la Figura 58 se puede observar que las tareas 4 y 7 han sido las que más problemas han ocasionado. En la tarea 4, el tiempo estimado para la realización de la tarea ha sido de 11"9 y el usuario 6, el que más tiempo ha necesitado, ha tardado 5'31" más de lo estipulado. Para la tarea 7, los datos son similares, el tiempo estimado ha sido de 24" y el usuario que más tiempo ha necesitado, el usuario 3, ha terminado la tarea en 5'44" más de lo estimado.

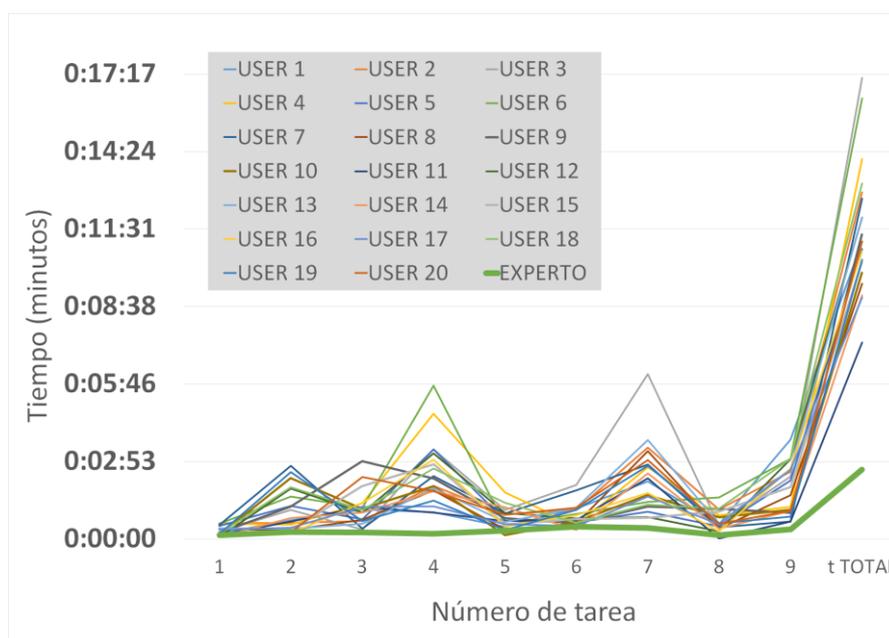


Figura 58: Tiempo de ejecución de tareas

En la Tabla 43 se recogen el tiempo del experto para realizar las tareas y el tiempo medio que han necesitado los usuarios para terminar las tareas junto a la cantidad media de errores realizada en cada una de las tareas.

Tabla 43: Comparación general del t de experto, t medio real y cantidad media de errores por tarea

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
t experto	00:09	00:16	00:15	00:12	00:19	00:28	00:25	00:09	00:22
t real medio	00:18	01:05	01:08	02:27	00:45	00:53	02:17	00:40	01:55
Cantidad media de errores	3,95	2,05	3,85	23,5	3,65	4,15	10,85	3,2	2,4

Para recoger la tasa de errores del software, se han medido los errores que han realizado los usuarios en cada una de las acciones. Si analizamos la Figura 59, se puede observar que las tareas 4 y 7 han sido las que más errores han ocasionado. La Figura 59 muestra que el número de clicks óptimo para la ejecución de la tarea 4 ha sido de 3 interacciones y el usuario que más dificultades ha tenido para finalizar la tarea, el usuario 6, ha necesitado 79 interacciones, seguido por el usuario 5 que ha necesitado 63 interacciones para ejecutar la tarea 4. Ha sido únicamente el 15% de la muestra el que ha completado dicha tarea sin errores. La tarea 7 también ha generado dificultades en algunos usuarios, siendo el número óptimo de interacciones de 4 frente a 59 interacciones que ha necesitado el usuario 3, el que más errores ha cometido.

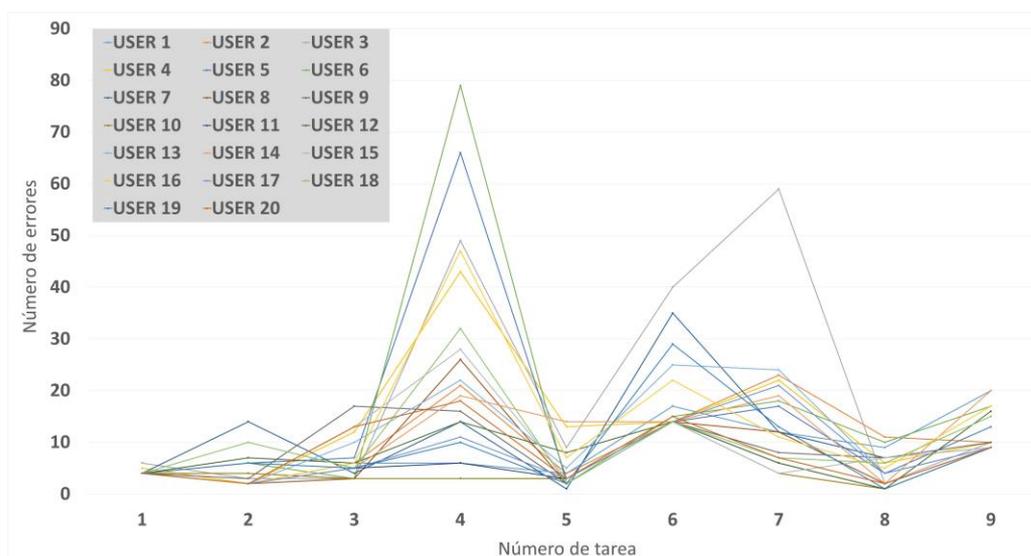


Figura 59: Número de errores por cada tarea

Resultado sobre la percepción de uso mediante el Cuestionario USE

Los resultados obtenidos del cuestionario USE se han recogido en base a la agrupación de preguntas del cuestionario: utilidad, facilidad de uso, facilidad de aprendizaje y satisfacción. Si analizamos las puntuaciones medias de los usuarios, se observa que la utilidad es la variable mejor valorada con 6,7 puntos de media sobre 10. Asimismo, la facilidad de uso obtiene 5,4 puntos de media y la facilidad de aprendizaje 5,6 puntos de media. Para finalizar, la satisfacción general es evaluada con 5 puntos sobre 10 (Tabla 44).

Tabla 44: Puntuación media cuestionario USE en CITYFIED

Variable	Puntuación
Utilidad	6,7
Facilidad de uso	5,4
Facilidad de aprendizaje	5,6
Satisfacción	6

La Figura 60 recoge los resultados individuales recogidos mediante el cuestionario USE para la evaluación del software CITYFIED. En esta imagen se aprecia que la utilidad es el factor que mejor ha sido valorado. Existen opiniones dispares en lo que respecta a la facilidad de uso, los cuales afectan en la media obtenida por cada factor. Aun así, el usuario que mejor ha valorado la facilidad de uso lo ha hecho con un 8,3, siendo un 2,7 la nota más baja. La facilidad de aprendizaje también recibe puntuaciones dispares. El usuario que mejor ha evaluado la aprendibilidad lo ha hecho con un 9,3 y el que peor lo ha evaluado con un 1,4. En términos de satisfacción, la mejor nota ha sido de un 9, frente al 1,8 de nota ofrecido por el usuario 12. El mismo que ha evaluado con un 1,4 la facilidad de aprendizaje.

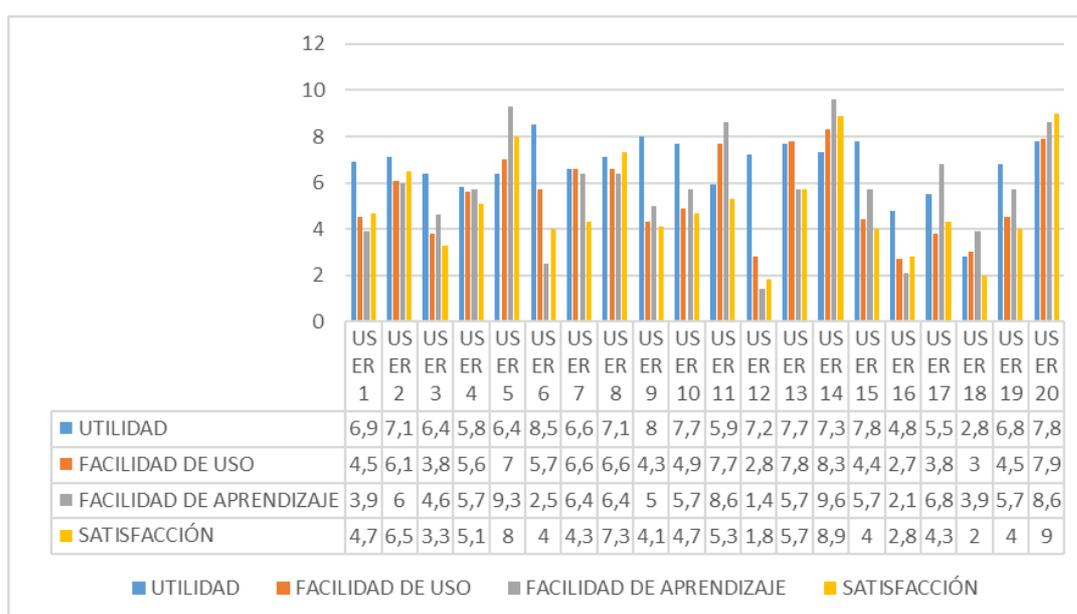


Figura 60: Resultados individuales del cuestionario USE en CITYFIED

4.2.5.6 Conclusiones

La aproximación propuesta en este caso de estudio, que parte del modelo orientado a interfaces industriales, permite evaluar una interfaz de visualización de datos mediante el análisis del valor TTF, la evaluación de los usuarios participantes y la observación. Se concluye que la adaptación realizada es adecuada para el análisis de interfaces de visualización de datos ya que permite conocer (i) el ratio de errores cometidos por los usuarios, (ii) el tiempo de ejecución real que han necesitado para ejecutar cada tarea y (iii) la experiencia de usuario de cada participante, sin perder la visión holística del método.

En cuanto a consideraciones metodológicas, uno de los aspectos clave es la adaptación del listado de verificación en base a la tipología de interfaz y las funcionalidades que ofrece dicha solución digital. Una vez se haya definido el listado de verificación para la tipología de interfaz a evaluar, sería extrapolable al resto de soluciones digitales de la misma naturaleza.

Por otro lado, el uso del software específico diseñado para la recogida automática de eventos interesantes y su almacenamiento en una base de datos, ha contribuido en que el análisis de datos haya sido mucho más rápido y preciso. Además, de esta forma, se ha evitado la presencia de un observador durante la ejecución de la experimentación y los resultados se han evaluado conjuntamente tras terminar la experimentación. Mediante el uso del software, los datos relacionados con los tiempos y errores se recogen de una forma muy detallada, sin que puedan existir errores humanos ni interpretativos.

Por otra parte, se ha observado que la cantidad de errores y el tiempo necesitado por los usuarios para ejecutar las tareas no tiene correlación con los valores obtenidos en relación a la Experiencia de Usuario. La interfaz analizada tiene un alto componente de operador mental, esto es, los usuarios deben mostrar sus capacidades para interpretar los datos. En esta línea, los usuarios tienden a evaluar la interfaz en base a su experiencia y capacidad, y es por ello que los datos como la facilidad de aprendizaje obtienen valores más altos de lo que la realidad ofrece. De los resultados obtenidos, se evidencia que los usuarios que mayor tasa de error y tiempo de ejecución han necesitado, evalúan la interfaz en términos generales como fácil de usar y aprender, distando mucho de los datos recogidos durante los testeos.

Por otra parte, y tomando como referencia la relación entre el valor TTF y el desempeño individual en soluciones industriales, la experimentación llevada a cabo

concluye que el valor TTF también es un factor determinante para evaluar el desempeño individual en interfaces de visualización de datos.

Por último, para futuras investigaciones de interfaces no industriales, se considera que el modelo ITPX debería reforzar los aspectos relacionados sobre los operadores mentales y ofrecer mecanismos para recoger de forma más detallada la secuencia de actividades y el tiempo de ejecución total estimado.

Mediante el último caso de estudio se han podido validar tanto la hipótesis 3, como la hipótesis 4. Por una parte, se ha visto que el valor de ajuste TTF influye en la percepción sobre la utilidad y facilidad de uso, así como en el esfuerzo para aprender a utilizarlos, estando ligado a la satisfacción en el usuario, su intención continuada de uso y la experiencia de usuario.

Por otra parte, se ha visto que el nuevo modelo ITPX es aplicable a interfaces de carácter no industrial.

En cuanto a los objetivos a cumplir, este caso de estudio ha contribuido en el conocimiento para la definición del indicador del desempeño. Además, se han podido recoger las primeras características a modificar para su adecuación en interfaces no industriales.

4.3 CONCLUSIONES GENERALES DE LOS CASOS DE ESTUDIO

Los resultados extraídos de las cinco experimentaciones llevadas a cabo, permiten conocer la complejidad durante la interacción entre una persona y una tecnología o interfaz digital. A continuación, se detallan las conclusiones generales extraídas de la lectura global de los resultados.

La primera de las conclusiones que se extrae de las experimentaciones es la correlación que existe entre los diferentes aspectos que se han analizado. Los resultados de los diferentes casos de estudio indican que el valor de ajuste TTF tiene implicaciones en la percepción de uso del usuario y el desempeño de ejecución de tareas. Estos resultados pueden agruparse en base al valor de ajuste TTF y las valoraciones en términos de utilidad, facilidad de uso, facilidad de aprendizaje y satisfacción. Aunque también se dispongan de los tiempos medios de ejecución de tareas y la media de errores, estos datos no pueden ser utilizados en la agrupación debido a que las interfaces y tareas son de naturalezas diferentes y no son comparables entre ellos.

En esta lectura conjunta de los datos se observa que cuanto más bajo es el valor TTF, los resultados obtenidos en cada una de las métricas reciben valoraciones medias más bajas por parte de los usuarios. Como ejemplo, en el caso de estudio 3, el valor de ajuste TTF es de un 18,40% y las métricas reciben puntuaciones inferiores al 4 sobre 10 puntos de nota. En el otro extremo, la interfaz Innguma V-B (caso de estudio 4), con un 93,24% de ajuste y cumpliendo con casi todos los requisitos establecidos en el listado de verificación, obtiene puntuaciones medias muy elevadas, con casi 9 puntos sobre 10 de media logrados por cada métrica a evaluar.

La Figura 61 recoge la relación del valor TTF y métricas para cada interfaz analizada.

Se observa que los valores TTF que están por debajo del 20% obtienen unos resultados muy bajos. Las métricas de utilidad y facilidad de uso son mejor valoradas que la facilidad de aprendizaje y la satisfacción. En cualquiera de los dos casos donde el valor TTF es menor que el 20 % (DoGrind y CNC Fagor Simulator 1.60) la satisfacción es el constructo que peor evaluado ha sido, obteniendo como media valores inferiores a 4 puntos sobre 10. Aun así, se aprecia que las valoraciones incrementan su valor respecto al valor TTF.

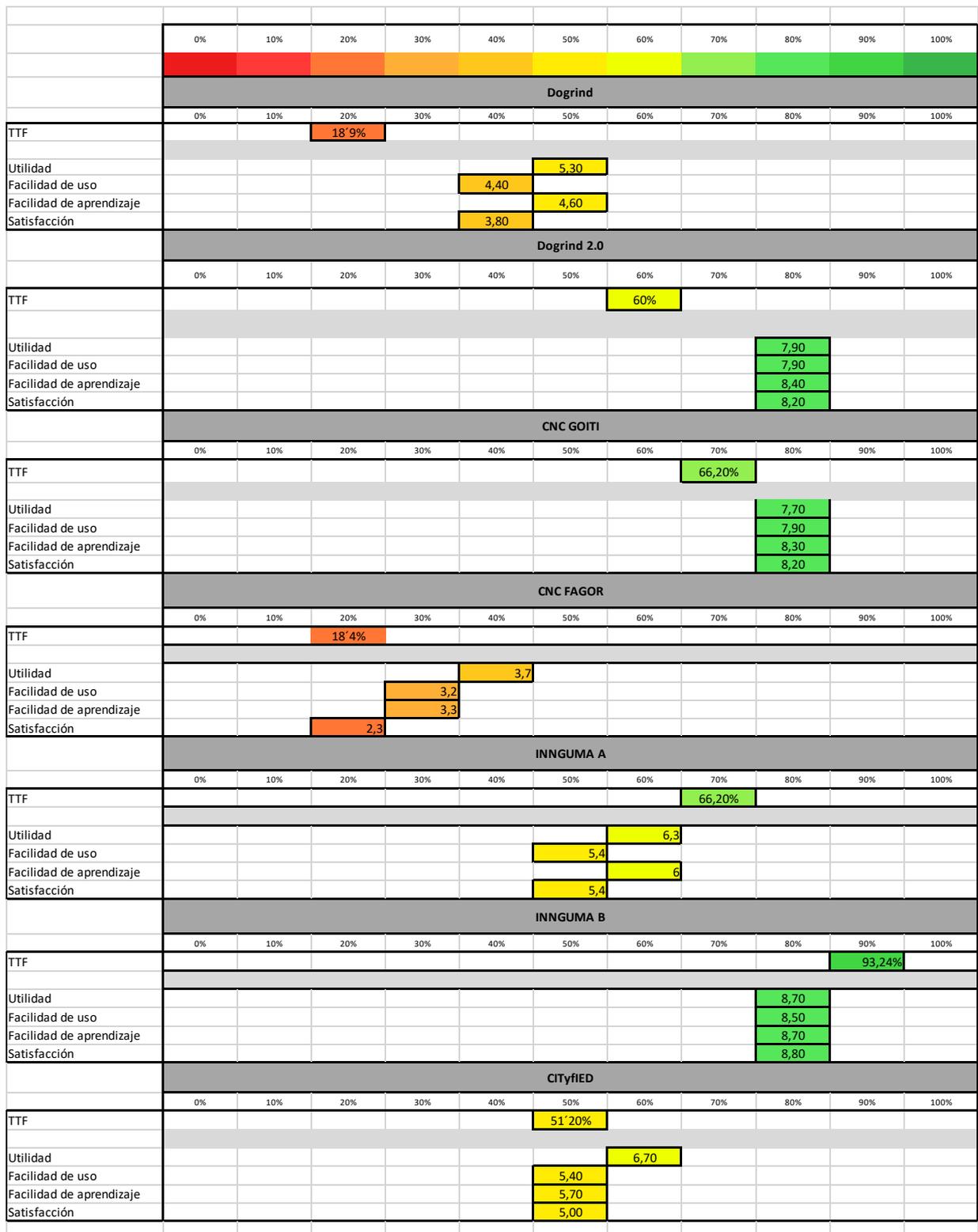


Figura 61: Relación entre Valores de ajuste TTF y valores de percepción de usuario

La solución digital CITYFIED, con un valor TTF del 51,2 %, obtiene resultados medios que rondan entre los 5 y los 6 puntos sobre 10. La utilidad sigue siendo el constructo mejor valorado y la satisfacción general la métrica peor evaluada. Aun siendo unos

valores aceptables en función de la escala del 1 al 10, no es suficiente para la mejora del desempeño laboral y la UX que se espera de una interfaz digital. Por dicha razón, se puede decir que las soluciones digitales con un porcentaje de cumplimiento del listado de verificación alrededor del 50 %, no logran resultados lo suficientemente satisfactorios.

Las tres soluciones evaluadas con un valor TTF entre el 60% y el 70% (DoGrind 2.0, CNC Goiti e Innguma V-A) obtienen mejores resultados. De todas formas, existen ciertas diferencias entre los valores recogidos. DoGrind 2.0 y CNC Goiti, con un 60% y 66,2% de encaje respectivamente, logran unos valores muy satisfactorios, rondado el 8/10 de puntuación media en cada una de las métricas. Además, es destacable que las métricas de facilidad de aprendizaje y satisfacción reciben mejores puntuaciones frente a las variables de utilidad y facilidad de uso. En esta línea, se observa que a diferencia de los valores TTF por debajo del 50%, cuando el valor de ajuste TTF incrementa, llegando a valores entre el 60 y 70 %, la percepción de los usuarios frente al software cambia y evalúan la satisfacción general de manera más generosa. La solución digital de Innguma V-A, con un nivel de congruencia del 66,20 % obtiene peores resultados con el mismo grado de cumplimiento. Esto se debe a que los usuarios han realizado la experimentación utilizando dos versiones (V-A y V-B) de un mismo software. Por dicha razón, se deduce que las notas medias y el orden de uso ha interferido en los resultados mostrados en la Figura 58. La Tabla 45 muestra la diferencia en cuanto a las puntuaciones medias recibidas por el software Innguma V-A en función del orden de uso. Aunque las valoraciones del procedimiento I sean mejores que en el procedimiento II, no son igual de satisfactorios que en las soluciones de DoGrind 2.0 y CNC Goiti debido a que los usuarios han rellenado el cuestionario USE una vez que han completado las tareas en cada una de las versiones. Debido a este hecho, los participantes han podido comparar las versiones y ofrecer una valoración conjunta tras la compleción de las actividades. Por ello, estos resultados, influenciados por diversas variables, no son del todo fiables para definir una tendencia en función del valor TTF.

Aunque la realización de estudios comparativos es muy interesante debido a que se observan diversos tipos de conducta y dificultades/facilidades para la realización de actividades, sería necesario repetir la experimentación con otros usuarios sin que el orden de uso y conocimiento previo logrado durante el caso de estudio interfieran en los resultados.

Tabla 45: Puntuación del software Innguma A

		VA
Procedimiento I	Utilidad	6,9
	Facilidad de uso	6,1
	Aprendizaje	6,1
	Satisfacción	6,1
Procedimiento II	Utilidad	5,7
	Facilidad de uso	4,8
	Aprendizaje	6
	Satisfacción	4,7
Medias sin tener en cuenta el orden de uso	Utilidad	6,3
	Facilidad de uso	5,4
	Aprendizaje	6
	Satisfacción	5,4

Por último, el software Innguma V-B, con un 93,24% de ajuste, obtiene unos valores muy satisfactorios. La utilidad recibe un 8,7, la facilidad de uso un 8,5, la facilidad de aprendizaje un 8,7 y la satisfacción general un 8,8 de nota media sobre 10. En este caso se observa que se repite el mismo patrón obtenido en las soluciones con un valor TTF más elevado al 60%; la aprendibilidad y la satisfacción general son las métricas mejor evaluadas por los usuarios.

Tras los casos de estudio llevados a cabo, se concluye que las interfaces digitales que cumplen con los criterios establecidos en el listado de verificación, obtienen mejores resultados de percepción de usuario. Además, cuanto mayor sea el valor de ajuste

TTF, la satisfacción general de los usuarios incrementa. Por otro lado, cuando el valor TTF obtiene resultados elevados, la solución digital es percibida como más fácil de usar.

En términos de ejecución de tareas y tasa de errores, el análisis de los aspectos mediante valores medios puede llevar a realizar una lectura e interpretación distorsionada de la realidad. Cada tarea realizada en las experimentaciones es diferente, ya que la dificultad, el tiempo esperado y la cantidad de tareas realizadas cambia en cada una de las actividades. Aun así, se han visto diversos patrones que se repiten en diferentes contextos. Por ejemplo, en las soluciones digitales con un TTF bajo (DoGrind y CNC Fagor Simulator 1.60), los usuarios han tenido problemas incluso para situarse en la pantalla y comenzar a interactuar con la misma. Los participantes de dichos casos de estudio no han sabido navegar y encontrar las funciones y opciones de la interfaz durante la primera tarea. De todas formas, se ha observado que una vez finalizada la primera actividad, en la mayoría de los casos con la ayuda del evaluador debido a la demora en tiempos, han podido realizar la segunda tarea de una manera más ágil. Esto se debe a que la segunda actividad en los dos casos ha sido una tarea sencilla y además han obtenido conocimiento sobre la navegación en la propia interfaz. En los casos de Innguma V-A e Innguma V-B, los usuarios no han necesitado ayuda y han sido más las tareas a realizar. Además, dichas tareas han sido más largas, por lo que la media extraída de estas dos experimentaciones y las anteriormente comentadas no son tan distintas.

En esta línea, cabe destacar que en los casos de estudio donde la realización de la primera tarea ha sido costosa, la aprendibilidad del sistema ha sido buena. Aun así, los usuarios no han valorado bien la facilidad de aprendizaje.

Si observamos la diferencia entre el tiempo experto y la media de tiempos por tarea en cada experimentación, se aprecia que las interfaces con un Valor TTF elevado, consiguen mejores resultados frente a las interfaces con un nivel TTF más reducido (Tabla 46). En el caso de DoGrind 2.0, la relación es alta debido a que solo se han realizado dos tareas y además ha sido afectada por el orden de uso.

Aunque la relación entre el tiempo experto y el real no haya sido lo mínimo que se esperaría en las soluciones con un valor TTF elevado, se observa que la percepción de los usuarios es muy satisfactoria independientemente del tiempo requerido y los errores cometidos en la experimentación.

Tabla 46: Relación de medias entre tiempo experto y real

	DoGrind	DoGrind 2.0	CNC Goiti	CNC fagor simulator 1.60	Innguma V-A	Innguma V-B	CITYFIED
Tiempo medio experto por tarea	00:36	00:26	00:07	00:26	00:16	00:14	00:12
Tiempo medio real por tarea	08:28	04:22	00:44	09:11	02:04	01:02	01:40
Relación	14,11	10	6	21,20	7,75	4,42	8,3

Tal y como se ha mencionado anteriormente, en cuanto a la cantidad de errores, la lectura conjunta de los resultados tiene que hacerse detenidamente, ya que los resultados no son comparables entre sí. Los participantes, aunque con perfiles muy similares, han tenido conductas muy diferentes. Algunas personas han navegado con calma, pensando en qué parte de la interfaz debían clicar, frente a otras personas que han sido más activas y han optado por clicar en cada uno de los elementos de la interfaz. Por dicho motivo, las medias de tasa de errores por tarea toman una entidad personal en cada una de las experimentaciones.

Aun así, tras las experimentaciones, en términos generales se aprecia que los usuarios que menos errores han cometido han necesitado más tiempo para la realización de las mismas. De esta forma se concluye que no existe una relación directa entre la cantidad de errores y el tiempo de ejecución.

Como conclusión final hay que destacar que los casos de estudio han permitido validar satisfactoriamente el modelo ITPX para su aplicación en interfaces industriales además de obtener resultados satisfactorios en aplicaciones de tipo no industrial. Aun así, se aprecia la necesidad de adaptación del listado de verificación para soluciones no industriales y en base a la tipología de interfaz y las funcionalidades que ofrece la solución digital a evaluar. Se considera que el listado de verificación para la tipología

de interfaz a evaluar, sería extrapolable al resto de soluciones digitales de la misma naturaleza.

Por otra parte, se observa la necesidad de reforzar en conocimiento sobre los operadores mentales y ofrecer mecanismos para recoger de forma más detallada la secuencia de actividades y el tiempo de ejecución total estimado. Además, en esta línea, se considera interesante analizar la carga cognitiva intrínseca, esto es, la carga inherente a la complejidad de la tarea y al nivel de experiencia del usuario. Así, se podrán considerar las implicaciones del aprendizaje previo que influyen en la capacidad de trabajo del individuo.

4.4 ITPX INDICATOR

Tras las conclusiones extraídas de las experimentaciones, se desarrolla un nuevo indicador del desempeño individual, el ITPX indicator, con el objetivo de que sirva como herramienta para el diagnóstico del éxito de soluciones digitales. Tal y como muestran los resultados y se ha concluido en este trabajo de investigación, el valor TTF indica la conducta de los usuarios frente a la interfaz digital. De esta manera, se conoce que los valores TTF superiores al 60% ofrecen unos resultados satisfactorios en términos de percepción de usuario. Además, la tasa de errores se ve reducida considerablemente y el tiempo de ejecución de tareas no dista demasiado del tiempo experto y el tiempo estimado.

Este hecho, puede ayudar a diseñadores y compañías a conocer el impacto que puede llegar a tener una solución digital en sus trabajadores. De esta forma, en fases de diseño tempranas, se podría realizar un análisis de la interfaz mediante el listado de verificación y observar cuáles de los puntos se cumplen, siendo incluso una guía para la mejora y el rediseño de las interfaces industriales.

Asimismo, el listado de verificación puede ser considerado como una herramienta útil para diseñadores y compañías, siendo una guía de diseño y un indicador de la satisfacción de los usuarios y el desempeño individual. En esta línea, es interesante mencionar el incremento de herramientas que favorecen el diseño de interfaces industriales orientados a tareas (Aranburu, Lasa, Gerrikagoitia, & Mazmela, 2020).

De las cinco experimentaciones llevadas a cabo, se ha extraído que, para un impacto positivo en el desempeño individual y las métricas de percepción de usuario, el valor de ajuste TTF debe ser mayor que el 70%. Cuanto más alto sea el valor de ajuste TTF y mejor sea la relación entre las demandas de la tarea y capacidades del sistema, los resultados de la ejecución de tareas mejorarán considerablemente, reduciendo la tasa de errores y mejorando los tiempos de compleción de tareas.

Es por ello que se ha creado la herramienta-indicador del desempeño individual ITPX indicator (Figura 62). De esta manera, después de que la interfaz industrial sea evaluada mediante el listado de verificación y obtener el valor de ajuste TTF, se puede obtener una aproximación del grado de éxito que obtendrá el interfaz industrial analizado en términos de desempeño individual y satisfacción general de los usuarios. Así, como se ha mencionado, esta herramienta servirá para diagnosticar las interfaces, adelantándose al éxito de la misma. En los casos en que las interfaces industriales no cumplan con los valores mínimos de ajuste, el propio listado de

verificación indicará cuales son las características a mejorar. Los diseñadores podrán validar los ítems del listado que no se han cumplido y modificar dichos aspectos en la interfaz para un mejor ajuste entre las demandas de la tarea y capacidades del sistema.

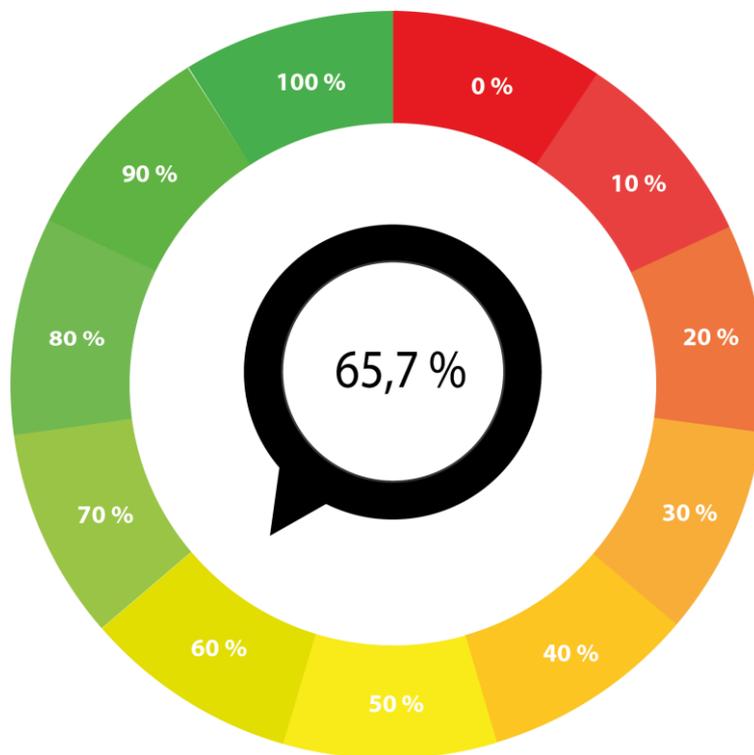


Figura 62: Herramienta-indicador del desempeño individual, ITPX indicador

Además, se ha observado que cuanto mayor sea el encaje entre las capacidades del sistema y las demandas de la tarea, la métrica que mejores puntuaciones recibe es la satisfacción general de los usuarios. Esto indica que, aunque el tiempo medio real sea mayor que el estimado y existan errores por parte de los usuarios, perciben la solución digital como muy satisfactoria.

En definitiva, las propiedades del sistema, las características del usuario, la tarea y el contexto donde se realiza la actividad determinarán las características de la interacción, las cuales serán mejores cuanto mayor sea el valor de ajuste TTF. En esta línea, tal y como se ha recogido en los casos de estudio, la percepción de cualidades instrumentales y no instrumentales será más positiva, mejorando las reacciones emocionales y evaluando las métricas de percepción de usuario de forma más positiva. Así, tal y como recoge el modelo ITPX, aumentará la intención continuada de uso del sistema y los valores de desempeño serán mejores.

Como conclusión, se plantea la posibilidad de que el modelo ITPX sirva como herramienta de diagnóstico de una interfaz industrial o solución digital mediante el uso del listado de verificación. Esto es, se podrían evitar las experimentaciones para validar soluciones digitales, facilitando a las compañías el proceso de integración de las interfaces en sus empresas. Esto ayudará a las compañías a tomar decisiones de manera ágil, sin que necesiten invertir recursos en testeos o procedimientos similares. Con los resultados obtenidos en los cinco estudios llevados a cabo, se ha mostrado la tendencia y la implicación del valor TTF en la consecución de tareas y la percepción de usuarios. Aun así, se deberían realizar más experimentaciones para estandarizar el modelo y poder determinar un indicador del éxito de la solución digital.

Capítulo V

CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

5 CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

Este quinto capítulo se divide en cinco apartados principales. En primer lugar, se recogen las conclusiones principales obtenidas a lo largo de la investigación, haciendo una lectura global del trabajo de investigación, los casos de estudio y los resultados obtenidos. En segundo lugar, se revisa la validación de las hipótesis definidas en la tesis doctoral. Tras ello, se listan las aportaciones más relevantes realizadas durante el desarrollo de la tesis doctoral. Como cuarto punto se reflexiona sobre las limitaciones de la investigación y por último se describen las líneas futuras definidas en base a las oportunidades identificadas.

5.1 CONCLUSIONES GENERALES

El fenómeno de la digitalización ha transformado los entornos de trabajo en las empresas manufactureras. La creciente automatización y personalización en el contexto de fábricas inteligentes, hace necesario integrar los factores humanos en contextos industriales informatizados, permitiendo que los operarios participen en la toma de decisiones y resolución de problemas. Es más, la colaboración entre personas y máquinas origina una visión holística, adaptándose dinámicamente entre sí y cooperando para lograr objetivos comunes. De esta forma, se podrán definir nuevas modalidades de trabajo, optimizar los flujos de la fábrica y diseñar un lugar de trabajo centrado en el ser humano que se adapte a las necesidades de los trabajadores y requisitos del proceso.

No obstante, para ello, se deben analizar las necesidades de los operarios y adecuar el entorno circundante representado por las herramientas, máquinas, sistemas, tareas, trabajo y espacios de trabajo a dichas necesidades y características de las personas. En este nuevo contexto, las interfaces digitales toman una relevancia considerable debido a que los usuarios interactúan con las mismas y tienen efectos directos en la ejecución de las tareas encomendadas. Si se consigue que las soluciones digitales con las que trabajaran los operarios sean satisfactorias, su uso será seguro, cómodo y efectivo, mejorando la satisfacción y el desempeño individual. Al fin y al cabo, el objetivo es el empoderamiento del trabajador, basado en la adaptación de la fábrica a las habilidades, capacidades y necesidades del trabajador, y en mejorar la comprensión para que el operario desarrolle sus competencias.

En este contexto de transformación digital en entornos de trabajo industriales, la UX es una disciplina clave. Las soluciones digitales que ayuden a los operarios a realizar de

forma ágil y satisfactoria las tareas encomendadas en dichas interfaces, lograrán mejorar su eficiencia y eficacia en el trabajo, mejorando la experiencia de uso y logrando mejores puntuaciones de desempeño individual. Por ello, se identifica la necesidad de crear nuevos métodos y herramientas que ayuden a identificar las claves de las interfaces que influyen en el rendimiento de los operarios.

Ante esta oportunidad, se ha creado el modelo ITPX, un modelo que permite evaluar la interfaz industrial y diagnosticar el impacto que puede tener en el desempeño individual. Asimismo, se propone un listado de verificación que facilita la incorporación de requerimientos necesarios para el diseño de las soluciones, siendo las claves para aumentar el ajuste entre las demandas de la tarea y las capacidades del sistema, lo cual mejora la satisfacción de los usuarios, aumentando la intención continuada de uso y mejorando el desempeño individual. Además, el nuevo indicador del desempeño "ITPX indicator" proporcionará el diagnóstico de una interfaz industrial en términos de desempeño individual. El nuevo modelo sostiene la importancia de mantener una visión holística para evaluar el desempeño individual.

A continuación, se recogen las conclusiones principales de la investigación, recogidas en base a los capítulos que componen el trabajo. En el primer capítulo estas son las conclusiones principales obtenidas:

- Debido al desarrollo de fábricas inteligentes, es necesario apoyar la creación de soluciones adaptadas a las personas con diferentes habilidades, capacidades y preferencias. De esta forma, los trabajadores estarán más motivados y serán más productivos. Además, las soluciones diseñadas deberán contribuir al bienestar del trabajo, aumentando la satisfacción, la motivación y el compromiso. Por ello, se concluye que existe la necesidad de proponer modelos y herramientas que ayuden a diseñar soluciones digitales con un enfoque HCD, de forma que la tecnología sea apropiada satisfactoriamente por las personas y mejorar así el rendimiento y la organización de las fábricas.
- El desarrollo de fábricas inteligentes provocará el empoderamiento de los operarios, permitiendo que adquieran roles más relevantes en la toma de decisiones y resolución de problemas, evolucionando hacia el denominado Operario 4.0. No obstante, para ello, los actuales entornos de trabajo deberán adecuarse a las necesidades y características de las personas, para que puedan emplear todas las capacidades de las tecnologías para rendir al máximo.

En el segundo capítulo, tras la revisión bibliográfica, se han obtenido las siguientes conclusiones:

- El bienestar de los empleados tiene impacto positivo en el rendimiento de la organización. Además, un sistema digital diseñado para satisfacer las necesidades de un operario, tomando en consideración aspectos de ergonomía y factores humanos, aumenta la eficacia y mejora el rendimiento.
- Si las tareas son diseñadas teniendo en cuenta factores humanos y ergonómicos, las tareas encomendadas estarán en línea a las exigencias y a las características de las interfaces o tecnologías. De esta manera, existirá el ajuste entre la tarea y la tecnología en el escenario laboral, y una adecuada apropiación tecnológica dará lugar. Además, será posible cumplir con los objetivos personales de los operarios, consiguiendo mayor seguridad, confort, desarrollo personal, satisfacción y disfrute. A su vez, la organización podrá mejorar su capacidad mediante la creación de sistemas más seguros, un servicio fiable, alta calidad de salida, buena reputación, incremento de los ingresos y reducción de costes. Todo ello se logrará mediante una mejora del rendimiento de los trabajadores y mejora de la cultura laboral.
- Tras la revisión del estado del arte llevada a cabo, no se evidencian estudios que superpongan los enfoques de adopción, teorías de ajuste y la UX. Aun así, se considera necesario tomar este enfoque holístico, integrando la visión instrumental orientada a tareas junto a las cualidades hedónicas, incluyendo la experiencia junto a los enfoques de adopción y ajuste.
- Es necesario desarrollar modelos que ayuden a crear sistemas digitales que además de integrar las características funcionales adaptadas a las necesidades de los usuarios, integren características de diseño que evoquen emociones a través de sus cualidades. De esta forma, aumentará la motivación e implicación de las personas, favoreciendo el desarrollo de trabajadores más activos, críticos, participativos y motivados.
- Es indispensable diseñar tareas minimizando la carga de actividades extrañas para lograr una mejor usabilidad y experiencias de usuario más positivas. Así, se disminuirá la dificultad a la que está sometido el usuario, reduciendo las exigencias de trabajo y la cantidad de carga cognitiva. Para ello, se debe dar un buen ajuste entre las características del sistema y las demandas de la tarea.
- Tras la revisión de marcos y métodos, se consideran cuatro marcos metodológicos los que muestran potencial como base para definir una nueva

metodología; (i) el marco de Usabilidad del Sistema (Savioja & Norros, 2013), (ii) el marco de análisis de la UX en la industria 4.0 (Peruzzini et al., 2018), (iii) el Factory2fit work well being (Kaasinen et al., 2018) y por último el (iv) modelo CUE (Thüring & Mahlke, 2007b).

En el tercer capítulo se presenta el nuevo modelo ITPX, un método diseñado para predecir y evaluar una interfaz industrial y sus implicaciones en el desempeño individual.

- El nuevo modelo ITPX tiene como objetivo diagnosticar el éxito de interfaces industriales en términos de desempeño individual y satisfacción de los usuarios.
- Se debe medir el ajuste entre las demandas de la tarea y las características del sistema. Para ello, se crea un listado de verificación específico considerando los heurísticos de Nielsen y la norma ISO/IEC 25010:2011.
- La UX se medirá mediante la (i) utilidad percibida, (ii) Facilidad de uso percibida (iii) Facilidad de aprendizaje percibido y (iv) satisfacción general.
- La ejecución de las tareas se describe mediante el modelo GOMS y se recogerán los tiempos de consecución de tareas y la tasa de errores, con el objetivo de obtener una medición objetiva.

En el cuarto capítulo se presentan los casos de estudio llevados a cabo, donde se obtienen los siguientes resultados:

- Se han validado todas las hipótesis planteadas para este trabajo de investigación mediante la materialización y ejecución de cinco casos de estudio. Cuatro de ellos han sido aplicaciones de interfaces industriales y uno de ellos una interfaz industrial.
- Las interfaces digitales que cumplen con los criterios establecidos en el listado de verificación, con valores de ajuste TTF superiores al 60%, obtienen mejores resultados de percepción de usuario. Además, cuanto mayor sea el valor de ajuste TTF, la satisfacción general de los usuarios incrementa y la solución digital es percibida como más fácil de usar.
- Los valores de ajuste TTF que están por debajo del 20% obtienen resultados medios inferiores a 4 puntos sobre 10 en cada una de las métricas sobre la UX.

- Las soluciones digitales con un porcentaje de cumplimiento del listado de verificación alrededor del 50%, no logran resultados lo suficientemente satisfactorios.
- Cuando el valor de ajuste TTF está entre el 60 y 70%, la percepción de los usuarios frente al software cambia y evalúan la satisfacción general con valores más elevados que el resto de métricas, a diferencia de las soluciones digitales con un valor de ajuste TTF menor que el 50%.
- Las tareas encomendadas se completan con mayor brevedad y con menor tasa de errores en las soluciones digitales con un valor de ajuste TTF elevado.
- La relación entre las demandas de la tarea y el sistema se da únicamente entre dichos constructos y el constructo de “características de usuario” no interfiere en la medición del valor TTF.
- No existe una relación directa entre la cantidad de errores y el tiempo de ejecución.
- La tendencia a realizar errores disminuye debido a la aprendibilidad y el conocimiento sobre el software.
- Cuanto mayor sea el entendimiento hacia el sistema, esto es, cuando la aprendibilidad se vea incrementada, los usuarios desarrollan las tareas en menor tiempo y los resultados de desempeño son mejores.
- El orden de uso de las soluciones digitales en las experimentaciones, influye en la aprendibilidad de los usuarios y por consiguiente tiene impacto directo en las valoraciones subjetivas realizadas por los mismos.
- Un valor de ajuste TTF mayor al 90% de cumplimiento, obtiene valores muy satisfactorios, recibiendo notas medias de un 9 sobre 10 en cada una de las métricas. Además, la aprendibilidad y la satisfacción general son los aspectos mejores evaluados por los usuarios, siendo métricas relacionadas con el esfuerzo.
- Aun existiendo evidencias de que la aprendibilidad del software es buena, los usuarios no lo perciben de tal manera en los casos donde la primera tarea a realizar ha requerido gran cantidad de errores y tiempo para la consecución de la misma.

- La consistencia en el diseño de la solución, esto es, seguir unos patrones establecidos de diseño ayuda a obtener resultados satisfactorios de facilidad de uso y satisfacción.
- Durante las experimentaciones, se ha observado que aspectos relacionados con la personalidad, experiencia previa y el estrés sufrido durante las experimentaciones puede interferir en la realización de tareas.
- Los dispositivos biométricos son herramientas interesantes para medir y comparar las sensaciones y valoraciones de los usuarios sobre la interacción con los resultados recogidos mediante los dispositivos. Además, el uso de dispositivos de monitorización EEG ayudan a monitorizar la actividad emocional y cognitiva de los usuarios, permitiendo la recogida de valores experienciales de una manera más objetiva.

Como conclusión general, se destaca que la presente tesis doctoral proporciona un nuevo modelo con un nuevo enfoque holístico, que ayuda a diagnosticar el éxito de interfaces industriales. En esta línea, se propone un procedimiento que ayuda a analizar el impacto de las soluciones digitales en la consecución de tareas y la percepción de usuario. Gracias a este nuevo modelo ITPX, las empresas manufactureras podrán conocer la implicación que tiene la integración de ciertas interfaces industriales en sus compañías, de forma que les ayudará a optimizar procesos, mejorar la calidad y la productividad. Además, el modelo servirá como guía para la toma de decisiones en términos de integración de soluciones digitales en las compañías, tomando una vital importancia en el contexto actual de transformación continua de entornos de trabajo, donde no se debe perder el foco en la apropiación tecnológica.

Como se ha mencionado, el modelo está configurado mediante una visión holística, integrando aspectos pragmáticos, así como aspectos relacionados con la experiencia durante la interacción entre el operario y la solución digital, recogiendo la percepción de las personas durante la consecución de las tareas encomendadas. Esta visión, proporciona resultados interesantes, ya que integra el aspecto emocional, que tan importante papel juega, junto al análisis objetivo de la ejecución de tareas. A su vez, contempla el uso de herramientas y equipos que ayudan a recoger las claves de la interacción de una forma objetiva, sin interrumpir durante el proceso de análisis, proporcionando rigurosidad a los resultados.

Por otro lado, el listado de verificación planteado para extraer el valor de ajuste TTF y el nuevo indicador del desempeño “ITPX indicator”, facilitan a las compañías las claves para el diseño de interfaces industriales que optimicen la relación entre las demandas de la tarea y las capacidades del sistema. De esta forma, mejorará la eficacia y eficiencia de los operarios durante la realización de las tareas y aumentará su autonomía, competencia y seguridad durante consecución de las actividades. Además, la productividad de las empresas manufactureras se verá influenciada positivamente debido a la mejora de la satisfacción de los trabajadores.

Por último, se cree oportuno proponer el modelo ITPX como herramienta de diagnóstico de una interfaz industrial o solución digital mediante el uso del listado de verificación. Esto es, se evitarán las experimentaciones para validar soluciones digitales, ayudando a las compañías a decidir la integración o no de interfaces industriales sin que necesiten invertir recursos en la realización de tests o dinámicas similares. Sin embargo, para establecer un indicador que determine la implicación del valor de ajuste TTF en el éxito de la solución digital, se deberán realizar más experimentaciones con el objetivo de estandarizar y validar el uso en diferentes contextos del modelo ITPX.

5.2 VALIDACIÓN DE LAS HIPÓTESIS

Este trabajo de investigación ha tenido como objetivo validar las siguientes hipótesis:

- **Hipótesis 1:** En el contexto de implementación de una interfaz industrial, cuanto mayor sea el valor de ajuste TTF entre los atributos de la interfaz y las características de la tarea, disminuirá el tiempo de realización de las tareas y se minimizará el ratio de errores, logrando mejores puntuaciones en las valoraciones de la experiencia de usuario y por consiguiente mejorando el desempeño individual.
- **Hipótesis 2:** La repetición de las tareas tiene implicación en la familiarización con la interfaz y, por consiguiente, independientemente del Valor TTF, se reduce el tiempo de ejecución de tareas encomendadas.
- **Hipótesis 3:** En el contexto de implementación de una interfaz industrial, cuanto mayor sea el valor de ajuste TTF, las interfaces serán percibidas como útiles y fáciles de usar, exigiendo menos esfuerzo para aprender a utilizarlos, generando mayor satisfacción en el usuario, aumentando su intención continuada de uso y mejorando la experiencia de usuario.
- **Hipótesis 4:** El nuevo modelo es aplicable a interfaces de tipo no industrial y se adecua a sus características.

A continuación, se argumenta la validación de cada una de las hipótesis planteadas:

Hipótesis 1: *En el contexto de implementación de una interfaz industrial, cuanto mayor sea el valor de ajuste TTF entre los atributos de la interfaz y las características de la tarea, disminuirá el tiempo de realización de las tareas y se minimizará el ratio de errores, logrando mejores puntuaciones en las valoraciones de la experiencia de usuario y por consiguiente mejorando el desempeño individual.*

Los cinco casos de estudios llevados a cabo, han demostrado que cuanto más elevado es el valor de ajuste TTF y mayor relación exista entre las demandas de la tarea y las capacidades del sistema, disminuirá el tiempo de realización de las tareas y se minimizará el ratio de errores. Además, las experimentaciones han demostrado que con valores de ajuste TTF mayores al 60%, implican una percepción de la experiencia de uso muy satisfactoria por parte de los usuarios.

Hipótesis 2: *La repetición de las tareas tiene implicación en la familiarización con la interfaz y, por consiguiente, independientemente del Valor TTF, se reduce el tiempo de ejecución de tareas encomendadas.*

La hipótesis se ha validado con los casos de estudio 1 (DoGrind – DoGrind 2.0) y 4 (Innguma V-A – Innguma V-B). Debido al uso continuado del sistema y la repetición de tareas, los usuarios se han familiarizado con la interfaz y han sido más ágiles en la consecución de las tareas posteriores a la primera. Además, el orden de uso también ha tenido implicaciones en el tiempo de ejecución de tareas, puesto que la aprendibilidad del sistema aumenta y se recogen valores más satisfactorios con la interfaz cuando se ejecutan en segundo lugar las tareas propuestas.

Hipótesis 3: *En el contexto de implementación de una interfaz industrial, cuanto mayor sea el valor de ajuste TTF, las interfaces serán percibidas como útiles y fáciles de usar, exigiendo menos esfuerzo para aprender a utilizarlos, generando mayor satisfacción en el usuario, aumentando su intención continuada de uso y mejorando la experiencia de usuario.*

La hipótesis 3 se ha validado mediante cada uno de los casos de estudio. Los datos recogidos demuestran que las soluciones digitales con un elevado valor de ajuste TTF, consiguen mejores puntuaciones en términos de utilidad y facilidad de uso, exigiendo menos esfuerzo para aprender a utilizarlos, generando mayor satisfacción de uso, aumentando su intención continuada de uso y mejorando la experiencia de usuario. Además, la satisfacción general es la métrica mejor valorada cuando el valor supera el 60% de ajuste, a diferencia que con valores menores al 60%, donde es la métrica peor valorada por los usuarios.

Además, se ha creado la herramienta ITPX Indicator, que servirá para diagnosticar el éxito de las interfaces industriales en términos de desempeño y satisfacción general. A su vez, en los casos en que las interfaces industriales no cumplan con los valores mínimos de ajuste, el propio listado de verificación indicará cuales son las características a mejorar. Los diseñadores podrán validar los ítems del listado que no se han cumplido y modificar dichos aspectos en la interfaz para un mejor ajuste entre las demandas de la tarea y capacidades del sistema.

Hipótesis 4: *El nuevo modelo es aplicable a interfaces de tipo no industrial y se adecua a sus características.*

La hipótesis se ha validado con el caso de estudio 5 y la solución digital CITYFIED, demostrando la aplicabilidad del modelo ITPX en interfaces de tipo no industrial. Aun

así, se ha concluido que el listado de verificación para obtener el valor de ajuste TTF debe ser modificado en función del tipo de solución digital a analizar.

5.3 APORTACIONES MÁS RELEVANTES

Dentro del marco de investigación de esta tesis doctoral, las aportaciones más relevantes están relacionadas con el análisis del componente experiencial en entornos de trabajo y su implicación en el uso y la aceptación de las interfaces industrial. A continuación, se muestran las aportaciones más relevantes de la investigación y las publicaciones en revistas, congresos y capítulos de libro que han derivado durante la ejecución de este trabajo a partir de las contribuciones citadas.

Mazmela-Etxabe, M., Lasa-Erle, G., Aranburu-Zabalo, E., GonzalezOchoantesana, I., & Val-Jauregi, E. (2018). La influencia de los entornos interactivos adaptados en la aceptación de interfaces industriales actuales. CIDIP 2018 Madrid (Spain)

Mazmela, M., Lasa, G., Aranburu, E., Gonzalez, I., & Reguera, D. (2018, September). TAMUX model for industrial HMI evaluation from UX and task performance perspective. In Proceedings of the XIX International Conference on Human Computer Interaction (pp. 1-2).

Mazmela, M., Lasa, G., & Agirre, A. (2019, June). Analysis of task execution in a data visualisation interface and its influence on individual performance. In Proceedings of the XX International Conference on Human Computer Interaction (pp. 1-2).

Mazmela Etxabe, M., Lasa Erle, G., Aranburu Zabalo, E., Tomás Malón, P., & Anaya Rodríguez, M. (2019). La evaluación de la ejecución de tareas por parte de los usuarios en interfaces industriales mediante el cuestionario USE. CIDIP 2019 Málaga (Spain)

Mazmela-Etxabe, M., Lasa-Erle, G. & Aranburu-Zabalo, E. (2019). El componente experiencial para la apropiación tecnológica. DYNA, 94(5) (I.F.: 0,629; Q4).

Mazmela-Etxabe. M., Lasa-Erle, G. & Aranburu-Zabalo, E. (2019). Revisión del componente experiencial en los modelos de aceptación tecnológica y teorías de ajuste durante las interacciones con sistemas digitales. DYNA New Technologies, 6(1).

Aranburu, E., Mazmela, M. y Lasa, G. (aceptado). Factores críticos de las interfaces industriales para la digitalización de la industria. Capítulo de libro en Industria 4.0 y la Dirección e Ingeniería de Proyectos del Servicio de Publicaciones de la Universidad de Cádiz, en coedición con la Asociación Española de Dirección e Ingeniería de Proyectos (AEIPRO).

Artículos en revisión:

Mazmela, M., Lasa, G. & Serrano, I. (2020). The use of the ITPX model to predict individual performance in industrial interfaces. *Cognition, Technology and work* (en espera, Q3).

Mazmela, M., Lasa, G. Aranburu, E. & Apraiz, A. (2020) Análisis del impacto de los factores de diseño en el aprendizaje y apropiación de una interfaz de inteligencia competitiva. *DYNA New Technologies*

Finalmente, mencionar que el presente trabajo ha contribuido en el desarrollo y publicación de los siguientes trabajos, donde se participa como coautor de las mismas:

Aranburu, E., Lasa, G., Mazmela, M. & Gerrikagoitia, J.K. (2017). Experience Context Capturer (ECC): new approach to analyse the user experience context within the industrial HMI environments. XXVI. International RESER Conference. Bilbao, Spain.

Lasa-Erle, G., Aranburu-Zabalo, E., Mazmela-Etxabe, M., Justel-Lozano, D., & Reguera-Bakhache, D. (2018). Nuevos planteamientos para integrar aspectos emocionales en la evaluación heurística de las soluciones digitales. CIDIP 2018 Madrid (Spain)

Aranburu, E., Lasa, G., Gerrikagoitia, J. K., & Mazmela, M. (2019). Revisión y nueva clasificación de métodos de evaluación de la experiencia de usuario para los HMI industriales. CIDIP 2019 Málaga (Spain)

Aranburu, E., Lasa, G., Gerrikagoitia, J. K., & Mazmela, M. (2020). Case Study of the Experience Capturer Evaluation Tool in the Design Process of an Industrial HMI. *Sustainability*, 12(15), 6228.

5.4 LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

A continuación, se reflexiona sobre las limitaciones de la investigación que se han identificado tras la validación del nuevo modelo ITPX:

- Las experimentaciones comparativas ofrecen información relevante sobre el factor de aprendibilidad y su impacto en la consecución de tareas. Aun así, debido al procedimiento utilizado en los casos de estudio donde influye el orden de uso (Casos de estudio 1 y 4), los valores recogidos desvirtúan los resultados generales recogidos. Los usuarios han evaluado la solución digital tras la realización de las actividades en las dos soluciones, y este hecho, ha influido en los resultados debido a que los usuarios han podido comparar las dos versiones. Por dicho motivo, aunque este tipo de experimentaciones comparativas sean muy interesantes para el análisis comparativo de dos versiones en términos de ejecución de tareas y percepción de usuario, a la hora de realizar la lectura de los resultados se tienen que tener en cuenta las implicaciones y las diferencias con el resto de resultados recogidos para las interfaces analizadas de forma individual.
- La realización de las experimentaciones en un entorno de laboratorio ofrece información relevante sobre las conductas de los participantes. Además, la interacción entre los facilitadores y las personas participantes es directa, por lo que se recoge feedback interesante sobre la solución digital. De todas formas, este trabajo de investigación tiene evidentes limitaciones en este sentido y resultaría interesante completar el análisis mediante la ejecución de las experimentaciones en un entorno de uso real. Este hecho ayudaría a entender el impacto de otras variables contextuales que pueden modificar los resultados obtenidos en las experimentaciones. Como continuidad a esta limitación, sería interesante trabajarlo como línea futura.
- El actual modelo ITPX debe reforzar el conocimiento sobre los operadores mentales. Esto se debe a que en este trabajo de investigación no se han podido considerar los tiempos que necesita un usuario para prepararse mentalmente para realizar una acción. Así, se podrán ofrecer mecanismos para recoger de forma más detallada la secuencia de actividades y el tiempo de ejecución total estimado.

5.5 LÍNEAS FUTURAS DE LA INVESTIGACIÓN

En la presente tesis doctoral se ha cumplido con los objetivos establecidos y se han podido validar las hipótesis planteadas. No obstante, debido a los resultados obtenidos en la investigación, se han identificado nuevas líneas de trabajo que merecen ser analizadas en un futuro próximo. Es por ello que se proponen las siguientes líneas futuras:

Línea futura 1: De cara a mejorar y optimizar la versión actual del modelo, tras las experimentaciones realizadas, se ha observado que el modelo ITPX debería sufrir algunas modificaciones con intención de definir y recoger mejor los resultados relacionados con la UX y la realización de actividades. Se tendría que valorar y analizar el impacto que podría tener la eliminación del constructo “características de usuario” del primer bloque donde se mide el valor de ajuste TTF. Tal y como se concluye en los casos de estudio, la relación entre las demandas de la tarea y el sistema se da únicamente entre dichos constructos, por lo que se propone considerar la eliminación de las variables relacionadas con el operador y trasladarlas al bloque de evaluación de la UX. Además, resultaría interesante completar el actual modelo ITPX incorporando nuevas variables provenientes del marco de trabajo definido por Kaasinen et al., (2018) y factores definidos por Wickens (2008) sobre la carga mental de trabajo, integrando aspectos que anteriormente no se contemplaban, tales como la (i) personalidad del individuo, (ii) la experiencia previa y el (iii) estrés debido al puesto de trabajo.

Por otra parte, durante las experimentaciones, se ha observado que el factor de utilidad es inherente a las herramientas de trabajo y soluciones digitales integradas en entornos industriales. Por dicho motivo, se propone considerar su eliminación. Para el nuevo modelo, se considera que además de la facilidad de uso percibida por el usuario, podría ser interesante añadir la métrica de “tolerancia al esfuerzo”, relacionado no solo con el factor de aprendibilidad, sino que aportando la visión personal del esfuerzo requerido durante la ejecución de tareas.

Retomando la importancia que tiene la apropiación tecnológica en el nuevo marco industrial, se debería analizar la integración del factor de “aceptación de usuario” respecto a la tecnología como métrica de evaluación de la UX.

Actualmente, aunque el modelo ITPX recoge la satisfacción como resultado de la interacción, el cuestionario USE lo evalúa de igual manera que el resto de métricas. Es por ello que podría ser interesante agruparlo con el resto de factores. Por otra parte,

ha habido casos en los que los usuarios no han sido capaces de completar las tareas sin ayuda del evaluador experto. Por dicho motivo, se considera interesante analizar la integración la variable “tasa de compleción de tareas”, relacionado con el porcentaje de usuario que logran completar la tarea, en el bloque relacionado con el análisis de tareas. A su vez, debido a la dificultad de comparar los resultados de las tareas en diferentes soluciones digitales, resultaría interesante contemplar otros aspectos que ayuden en el análisis y comparación de los casos. En esta línea, podría considerarse la integración del concepto de “carga de tareas” que ayuda a analizar la (i) dificultad, la (ii) complejidad, el (iii) número de tareas, las (iv) características y la (v) interferencia de las actividades a realizar. La optimización del modelo ITPX, tendría que plantear que todos los constructos que determinan la UX influyen en la (i) autonomía, (ii) competencia, (iii) vínculo, (iv) seguridad y (v) estimulación del usuario.

Por último, se tendría que valorar recoger las consecuencias del proceso de interacción siguiendo los criterios establecidos por Kaasinen et al., (2018) en su marco de trabajo Factory2Fit. Así, independientemente del valor de desempeño individual, se podría analizar el impacto del valor TTF, la realización de las tareas y los valores de la UX en el (i) bienestar en el trabajo y (ii) los beneficios para la compañía. El bienestar se traduce en términos de (i) satisfacción con el trabajo, (ii) motivación con el trabajo y (iii) compromiso con el trabajo. Los beneficios para la compañía por su parte se entienden mediante la (i) optimización de procesos, (ii) productividad, (iii) calidad y (iv) convertirse en el sitio deseado para trabajar. Mediante estas modificaciones, los beneficios para la compañía y el operario real se podrán analizar mejor. El nuevo modelo adaptado que recoge todas estas consideraciones se muestra en la Figura 63.

Línea futura 2: Se considera necesario la realización de más experimentaciones con el objetivo de estandarizar el ITPX indicador. Así, se podrá completar la herramienta planteada, de forma que cuantos más casos de estudio se realicen, mayor fiabilidad recibirá. De esta forma se conseguirá obtener una valoración más exhaustiva el impacto que tiene el valor TTF en la conducta de los usuarios, la tasa de errores durante la ejecución de las actividades y el tiempo de compleción de las tareas. Además, servirá como una guía de diseño más fiable y consistente para interfaces industriales.

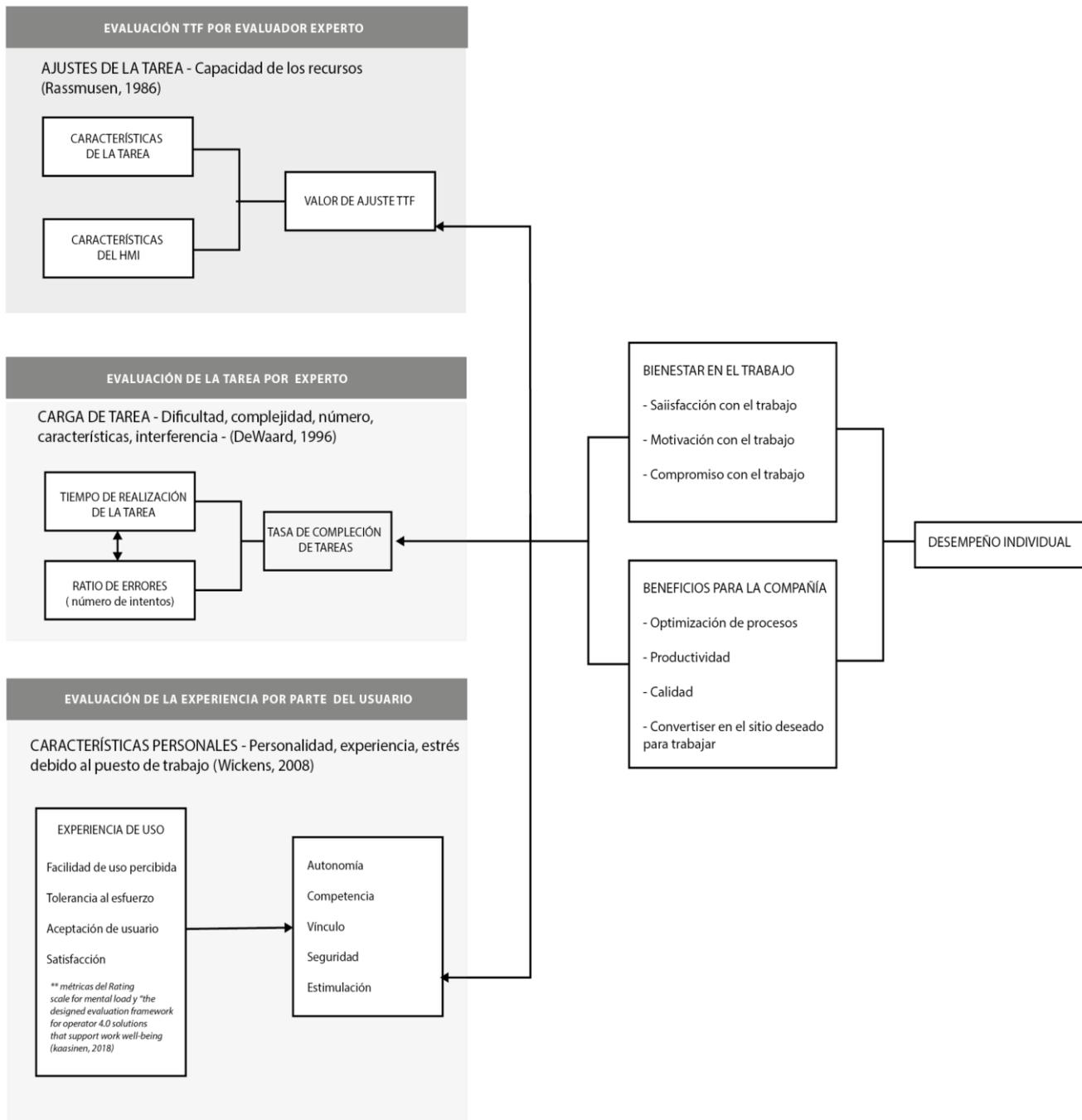


Figura 63: Propuesta para la optimización del modelo ITPX.

Línea futura 3: Se considera muy interesante como línea futura, indagar en el posible desarrollo de un indicador del desempeño individual que valore el desempeño de los operarios en base a sus características y el valor de ajuste TTF. Así, además de conocer las implicaciones positivas o negativas que puede tener el valor de ajuste TTF en la conducta de los usuarios y la propia realización de actividades, el modelo ITPX serviría como calculadora del desempeño individual. Para ello, se deberán de tener en

cuenta aspectos personales que el ITPX en estos momentos no recoge, tales como la personalidad, la experiencia previa, el estrés debido al puesto de trabajo, la aceptación de tecnología, la tolerancia al esfuerzo, la autonomía, la competencia o la seguridad. Además, el factor contextual podrá tener implicaciones en el resultado final, por lo que también sería una variable a tener en cuenta.

Línea futura 4: Tras los casos de estudio realizados, resultaría interesante trabajar en la estandarización del proceso de consecución de las experimentaciones. Por otra parte, se debería analizar qué impacto tiene el hecho de establecer unos tiempos determinados para que los facilitadores ofrezcan ayuda durante la interacción. Además, se debería valorar la implicación que tiene establecer un tiempo límite para la consecución de actividades. Un aspecto a valorar en este sentido podría ser la “tasa de compleción de tareas”.

Línea futura 5: Para las experimentaciones futuras, se propone el uso del dispositivo eye-tracker junto a la integración de dispositivos de monitorización EEG. Así, se podrá monitorizar la actividad emocional y cognitiva de los usuarios, permitiendo la recogida de valores experienciales de una manera más objetiva. Así, además de recoger la percepción de los usuarios, se obtendrá la relación entre los momentos críticos de la ejecución de tareas y momentos de estrés de los participantes.

Línea futura 6: Sería interesante validar el modelo en un entorno de uso real, a diferencia de las experimentaciones llevadas a cabo en esta tesis doctoral, las cuales se han desarrollado en un entorno de laboratorio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar, F. V. (2018). Transformación digital: del lifting a la reconversión. *Revista Tecnología, Ciencia y Educación*, (10).
- Ajzen, I., & Cote, N. G. (2008). Attitudes and the prediction of behavior. *Attitudes and Attitude Change*, 289--311.
- Ajzen, I. (1985). From Intentions to Actions: A Theory of Planned Behavior. In *Action Control* (pp. 11–39). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Ajzen, I. (1991). The theory of planned behavior. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 50(2), 179–211.
- Alben, L. (1996). Quality of experience: defining the criteria for effective interaction design. *Interactions*, 3(3), 11–15.
- Aranburu, E., Lasa, G., Gerrikagoitia, J. K., & Mazmela, M. (2020). Case Study of the Experience Capturer Evaluation Tool in the Design Process of an Industrial HMI. *Sustainability*, 12(15), 6228.
- Aranyi, G., & Schaik, P. (2016). Testing a model of user-experience with news websites. *Journal of the Association for Information Science and Technology*, 67(7), 1555–1575.
- Arhippainen, L., & Tähti, M. (2003). Empirical evaluation of user experience in two adaptive mobile application prototypes. In *MUM 2003. Proceedings of the 2nd International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia* (pp. 27–34).
- Baas, P., & van Rekom, C. D. J. (2010). Task-technology fit in the workplace. MS thesis, Dept. MSc Bus. Admin., Bus. Inf. Manage., Erasmus Univ., Rotterdam, The Netherlands.
- Bandura, A. (1986). Social foundations of thought and action. *Englewood Cliffs, NJ*, 1986.
- Barki, H., Titah, R., & Boffo, C. (2007). Information system use-related activity: an expanded behavioral conceptualization of individual-level information system use. *Information Systems Research*, 18(2), 173–192.
- Barros, T., & Muñuzuri, J. (2017). *La Industria 4.0: Aplicaciones e Implicaciones*.
- Beaudry, Anne and Pinsonneault, A. (2010). The other side of acceptance: studying the direct and indirect effects of emotions on information technology use. *MIS Quarterly*, 689–710.
- Becker, B., & Gerhart, B. (1996). The impact of human resource management on organizational performance: Progress and prospects. *Academy of Management Journal*, 39(4), 779–801.
- Benbasat, Izak and Dexter, A. S. (1986). An investigation of the effectiveness of color and graphical information presentation under varying time constraints. *MIS Quarterly*, 59–83.
- Bevan, N., Carter, J., & Harker, S. (2015). ISO 9241-11 revised: What have we learnt about usability since 1998? In *International Conference on Human-Computer Interaction* (pp. 143–151). Springer.
- Bharadwaj, A. S., Bharadwaj, S. G., & Konsynski, B. R. (1999). Information Technology Effects on Firm Performance as Measured by Tobin's q. *Management Science*, 45(7), 1008–1024.
- Bion, J. F., Abrusci, T., & Hibbert, P. (2010). Human factors in the management of the critically ill patient. *British Journal of Anaesthesia*, 105(1), 26–33.
- Bitbrain. (2019). Sennslab.
- Blanco, R., Fontrodona, J., & Poveda, C. (2017). La industria 4.0: el estado de la cuestión. *Economía Industrial*, (406), 151–164.
- Bødker, S. (2006). When second wave HCI meets third wave challenges. In *Proceedings of the 4th Nordic conference on Human-computer interaction: changing roles* (pp. 1–8).

- Bonekamp, L., & Sure, M. (2015). Consequences of Industry 4.0 on human labour and work organisation. *Journal of Business and Media Psychology*, 6(1), 33–40.
- Bonnardel, N., & Moscardini, L. (2012). Toward a situated cognition approach to design: effect of emotional context on designers' ideas. In *Proceedings of the 30th European Conference on Cognitive Ergonomics* (pp. 15–21). ACM.
- Boring, R. L., Ulrich, T. A., & Rasmussen, M. (2018). Task level errors for human error prediction in GOMS-HRA, 433–439.
- Breton, R., & Rousseau, R. (2001). Situation Awareness: A review of the concept and its measurement. *DRDC Valcartier TR*, 220.
- Brynjolfsson, E., & McAfee, A. (2014). *The second machine age: work, progress, and prosperity in a time of brilliant technologies*. WW Norton & Company.
- Card, S. K., Moran, T. P., & Newell, A. (1980). The keystroke-level model for user performance time with interactive systems. *Communications of the ACM*, 23(7), 396–410.
- Card, S. K., Moran, T. P., & Newell, A. (1983). The Psychology of. *Human-Computer Interaction*, 1–43.
- Carswell, L., Thomas, P., Petre, M., Price, B., & Richards, M. (2000). Distance education via the Internet: The student experience. *British Journal of Educational Technology*, 31(1), 29–46.
- Castillo, J. A. (2018). Crisis y oportunidades : el futuro del trabajo y de. *Revista Ciencias de La Salud*, 16, 4–7.
- Cenfetelli, R. T. (2004). Inhibitors and enablers as dual factor concepts in technology usage. *Journal of the Association for Information Systems*, 5.
- Chau, P. Y. K., & Hu, P. J.-H. (2002). Investigating healthcare professionals' decisions to accept telemedicine technology: an empirical test of competing theories. *Information & Management*, 39(4), 297–311.
- Chong, T. S. (2005). Recent Advances Cognitive Load Theory Research: Implications for the Instructional Designers. *Recent Advances in Cognitive Load Theory Research*.
- Cityfied. (2019). Cityfied software V.10.
- Cooper, G. E., & Harper Jr, R. P. (1969). *The use of pilot rating in the evaluation of aircraft handling qualities*. Advisory group for aerospace research and development Neuilly-Sur-Seine (France).
- Cooper, R. B., & Zmud, R. W. (1990). Information Technology Implementation Research: A Technological Diffusion Approach. *Management Science*, 36(2), 123–139.
- Council, I. (2000). The discipline of ergonomics. *International Ergonomics Society*, 1, 3–37.
- Crovi, M. (2010). Jóvenes, migraciones digitales y brecha tecnológica. *Revista Mexicana de Ciencias Políticas y Sociales*, 52, 119–133.
- D'Ambra, J., Wilson, C. S., & Akter, S. (2013). Application of the task-technology fit model to structure and evaluate the adoption of E-books by A cademics. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 64(1), 48–64.
- D'Mello, S., & Graesser, A. (2012). Dynamics of affective states during complex learning. *Learning and Instruction*, 22(2), 145–157.
- Danobatgroup S.Coop., D. (2012). DoGrind.
- Danobatgroup S.Coop., D. (2019). CNC GOITI.
- Davis, Fred D and Bagozzi, Richard P and Warshaw, P. R. (1992). Extrinsic and intrinsic motivation to use computers in the workplace. *Journal of Applied Social Psychology*, 22, 1111–1132.
- Davis, F. D. (1989). Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. *MIS Quarterly*, 319–340.
- Deci, E. L., & Ryan, R. M. (2014). Deci, E. L., & Ryan, R. M. (2014). Autonomy and need

- satisfaction in close relationships: Relationships motivation theory. *In Human Motivation and Interpersonal Relationships*.
- Deci, E., & Ryan, R. M. (1985). *Intrinsic motivation and self-determination in human behavior*. Springer Science & Business Media.
- DeLone, W. H., & McLean, E. R. (1992). Information Systems Success: The Quest for the Dependent Variable. *Information Systems Research*, 3(1), 60–95.
- Desmet, P & Hekkert, P. (2007). Framework of product experience. *International Journal of Design*, 1, 57–66.
- Desmet, P. (2003a). A Multilayered Model of Product Emotions. *The Design Journal*, 6(2), 4–13.
- Desmet, P. (2003b). Measuring emotion: Development and application of an instrument to measure emotional responses to products. In *Funology* (pp. 111–123). Springer.
- Dishaw, M. T., & Strong, D. M. (1998). Supporting software maintenance with software engineering tools: A computed task--technology fit analysis. *Journal of Systems and Software*, 44(2), 107–120.
- Dishaw, M. T., & Strong, D. M. (1999). Extending the technology acceptance model with task--technology fit constructs. *Information & Management*, 36(1), 9–21.
- Distler, V., Lallemand, C., & Koenig, V. (2020). How Acceptable Is This? How User Experience Factors Can Broaden our Understanding of The Acceptance of Privacy Trade-offs. *Computers in Human Behavior*, 106, 106227.
- Drury, C. G. (1983). Task analysis methods in industry. *Applied Ergonomics*, 14(1), 19–28.
- Endsley, M. R. (1988). Design and evaluation for situation awareness enhancement. In *Proceedings of the Human Factors Society annual meeting* (Vol. 32, pp. 97–101). SAGE Publications Sage CA: Los Angeles, CA.
- Endsley, M. R. (1995). Toward a theory of situation awareness in dynamic systems. *Human Factors*, 37(1), 32–64.
- Endsley, M. R. (2017). Direct measurement of situation awareness: Validity and use of SAGAT. In *Situational Awareness* (pp. 129–156). Routledge.
- Endsley, M. R., & Garland, D. J. (2000). *Situation awareness analysis and measurement*. CRC Press.
- Fagor Automation, F. (2013). Fagor CNC Simulator 1.60. Retrieved from www.fagorautomation.com
- Falco, M., Núñez, I., Tanzi, F., & Muñoz, L. P. (2018). Abordando el Análisis de Usabilidad de Tanziflex, una Herramienta Web para Investigación Operativa. *Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Informação*, (30), 91–106.
- Federici, S., Mele, M. L., Bracalenti, M., Buttafuoco, A., Lanzilotti, R., & Desolda, G. (2019). Bio-behavioral and Self-report User Experience Evaluation of a Usability Assessment Platform (UTAssistant). In *VISIGRAPP (2: HUCAPP)* (pp. 19–27).
- Fernández, K., McAnally, L., Vallejo, A. (2015). Apropiación tecnológica: Una visión desde los modelos y las teorías que la explican. *Perspectiva Educativa*, 54(2), 109–125.
- Ferreira, P., Doltsinis, S., & Lohse, N. (2014). Symbiotic assembly systems—A new paradigm. *Procedia Cirp*, 17, 26–31.
- Fiasché, M., Pinzone, M., Fantini, P., Alexandru, A., & Taisch, M. (2016). Human-centric factories 4.0: A mathematical model for job allocation. In *2016 IEEE 2nd International Forum on Research and Technologies for Society and Industry Leveraging a better tomorrow (RTSI)* (pp. 1–4). IEEE.
- Fishbein, M., & Ajzen, I. (1975). *Belief, attitude, intention and behavior: An introduction to theory and research*.
- Fuller, R. M., & Dennis, A. R. (2009). Does fit matter? The impact of task-technology fit and appropriation on team performance in repeated tasks. *Information Systems Research*,

20(1), 2–17.

- Gao, Q., Wang, Y., Song, F., Li, Z., & Dong, X. (2013). Mental workload measurement for emergency operating procedures in digital nuclear power plants. *Ergonomics*, 56(7), 1070–1085.
- García, O. S., & del Hoyo Delgado, M. Á. (2002). *La carga mental de trabajo*. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.
- Garrett, J. J. (2010). *Elements of user experience, the: user-centered design for the web and beyond*. Pearson Education.
- Gebauer, J., & Ginsburg, M. (2006). Exploring the black box of task-technology fit: the case of mobile information systems. In *Fifth Workshop on e-Business (WeB 2006)*.
- Gefen, D., Karahanna, E., & Straub, D. W. (2003). Trust and TAM in online shopping: An integrated model. *MIS Quarterly*, 27(1), 51–90.
- Gillan, D. J. (2012). Five questions concerning task analysis. *The Handbook of Work Analysis: The Methods, Systems, Applications, & Science of Work Measurement in Organizations*, 201–214.
- Goleman, D. (1996). Emotional Intelligence. Why It Can Matter More than IQ. *Learning*, 24(6), 49–50.
- Gong, R., & Kieras, D. (1994). A validation of the GOMS model methodology in the development of a specialized, commercial software application. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 351–357).
- Goodhue, D. L. (1995). Understanding user evaluations of information systems. *Management Science*, 41(12), 1827–1844.
- Goodhue, D. L., Klein, B. D., & March, S. T. (2000a). User evaluations of IS as surrogates for objective performance. *Information & Management*, 38(2), 87–101.
- Goodhue, D. L., Klein, B. D., & March, S. T. (2000b). *User evaluations of IS as surrogates for objective performance*.
- Goodhue, D. L., & Thompson, R. L. (1995). Task-technology fit and individual performance. *MIS Quarterly*, 213–236.
- Goodhue, D. L., Thompson, R. L., & Goodhue, B. D. L. (1995). Task-Technology Fit and Individual Performance. *Mis Quarterly*, 19(2), 213–236. <https://doi.org/10.2307/249689>
- Gorecky, D., Schmitt, M., Loskyll, M., & Zuhlke, D. (2014). Human-machine-interaction in the industry 4.0 era. In *2014 12th IEEE International Conference on Industrial Informatics (INDIN)* (pp. 289–294). IEEE. <https://doi.org/10.1109/INDIN.2014.6945523>
- Gwebu, K. L., & Wang, J. (2011). Adoption of Open Source Software: The role of social identification. *Decision Support Systems*, 51(1), 220–229.
- Ha, S., & Stoel, L. (2009). Consumer e-shopping acceptance: Antecedents in a technology acceptance model. *Journal of Business Research*, 62(5), 565–571.
- Hadorn, B., Courant, M., & Hirsbrunner, B. (2015). Holistic integration of enactive entities into cyber physical systems. In *2015 IEEE 2nd international conference on cybernetics (CYBCONF)* (pp. 281–286). IEEE.
- Hancock, P. A., & Desmond, P. A. (2000). *Stress, workload, and fatigue*. CRC Press.
- Hargittai, E. (2010). Digital Na(t)ives? Variation in Internet Skills and Uses among Members of the “Net Generation.” *Sociological Inquiry*, 80(1), 92–113.
- Hart, S. G., & Staveland, L. E. (1988). Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of empirical and theoretical research. In *Advances in psychology* (Vol. 52, pp. 139–183). Elsevier.
- Hartmann, J., Sutcliffe, A., & Angeli, A. De. (2008). Towards a theory of user judgment of aesthetics and user interface quality. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction (TOCHI)*, 15(4), 15.

- Hassenzahl, M. (2010). Experience design: Technology for all the right reasons. *Synthesis Lectures on Human-Centered Informatics*, 3(1), 1–95.
- Hassenzahl, Marc. (2003). The thing and I: understanding the relationship between user and product. In *Funology* (pp. 31–42). Springer.
- Hassenzahl, Marc. (2010). Experience Design: Technology for All the Right Reasons. *Synthesis Lectures on Human-Centered Informatics*, 3(1), 1–95.
- Hassenzahl, Marc, Diefenbach, S., & Göritz, A. (2010). Needs, affect, and interactive products-- Facets of user experience. *Interacting with Computers*, 22(5), 353–362.
- Hassenzahl, Marc, Eckoldt, K., Diefenbach, S., Laschke, M., Len, E., & Kim, J. (2013). Designing moments of meaning and pleasure. Experience design and happiness. *International Journal of Design*, 7(3).
- Hassenzahl, Marc, & Tractinsky, N. (2006). User experience-a research agenda. *Behaviour & Information Technology*, 25(2), 91–97.
- Hermann, M., Pentek, T., & Otto, B. (2016). Design principles for industrie 4.0 scenarios. In *2016 49th Hawaii international conference on system sciences (HICSS)* (pp. 3928–3937). IEEE.
- Hitt, LM & Brynjolfsson, E. (1996). Productivity, business profitability, and consumer surplus: three different measures of information technology value. *JSTOR*.
- Hoehle, H. (2011). *Consumer intention to use electronic banking channels: The role of Task-Channel fit*.
- Hollender, N., Hofmann, C., Deneke, M., & Schmitz, B. (2010). Integrating cognitive load theory and concepts of human–computer interaction. *Computers in Human Behavior*.
- Hollnagel, E., & Woods, D. D. (2005). *Joint cognitive systems: Foundations of cognitive systems engineering*. CRC press.
- Hornbæk, K. (2006). Current practice in measuring usability: Challenges to usability studies and research. *International journal of human-computer studies*.
- Hornbaek, K., & Lai-Chong Law, E. (2007). Meta-Analysis of Correlations Among Usability Measures. In *CHI '07 Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*.
- Hornbæk, Kasper, & Hertzum, M. (2017). Technology acceptance and user experience: a review of the experiential component in HCI. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction (TOCHI)*, 24(5), 33.
- Hornbæk, Kasper, & Law, E. L.-C. (2007). Meta-analysis of correlations among usability measures. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems* (pp. 617–626).
- Horváth, I. (2007). Comparison of three methodological approaches of design research. *Guidelines for a Decision Support Method Adapted to NPD Processes*, 361–362.
- Innguma Technologies SLU. (2018). Innguma.
- Isen, A. M. (2001). An influence of positive affect on decision making in complex situations: Theoretical issues with practical implications. *Journal of Consumer Psychology*, 11(2), 75–85.
- Jäger, A., Moll, C., Som, O., Zanker, C., Commission, E., Media, D.-G. for the I. S. and, & (Karlsruhe), F.-I. für S. und I. (2015). *Analysis of the impact of robotic systems on employment in the European Union: final report*.
- Jarvenpaa, S. L. (1989). The Effect of Task Demands and Graphical Format on Information Processing Strategies. *Management Science*, 35(3), 285–303.
- Jeannot, E., Kelly, C., & Thompson, D. (2003). The development of situation awareness measures in ATM systems.
- Jeyaraj, A., Rottman, J. W., & Lacity, M. C. (2006). A review of the predictors, linkages, and

- biases in IT innovation adoption research. *Journal of Information Technology*, 21(1), 1–23.
- John, B. E., & Gray, W. D. (1995). CPM-GOMS: an analysis method for tasks with parallel activities. In *Conference companion on Human factors in computing systems* (pp. 393–394). ACM.
- John, B. E., & Kieras, D. E. (1996). The GOMS family of user interface analysis techniques: comparison and contrast. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*, 3(4), 320–351.
- Jordan, P. W. (2000). The four pleasures—a framework for pleasures in design. In *Proceedings of Conference on Pleasure Based Human Factors Design, Groningen. The Netherlands: Philips Design*.
- Kaasinen, E., Liinasuo, M., Schmalfuß, F., Koskinen, H., Aromaa, S., Heikkilä, P., ... Malm, T. (2018). A worker-centric design and evaluation framework for operator 4.0 solutions that support work well-being. In *IFIP Working Conference on Human Work Interaction Design* (pp. 263–282). Springer.
- Kaasinen, E., Roto, V., Hakulinen, J., Heimonen, T., Jokinen, J. P. P., Karvonen, H., ... Saariluoma, P. (2015). Defining user experience goals to guide the design of industrial systems. *Behaviour & Information Technology*, 34(10), 976–991.
- Kieras, D. (1997). A Guide to GOMS Model Usability Evaluation using NGOMSL. *Handbook of Human-Computer Interaction*, 733–766.
- Kim, H.W., Chan, H.C., Gupta, S. (2007). Value-based adoption of mobile internet: an empirical investigation. *Decision Support Systems*, 43, 111–126.
- Kim, S. S., & Malhotra, N. K. (2005). A longitudinal model of continued IS use: An integrative view of four mechanisms underlying postadoption phenomena. *Management Science*, 51(5), 741–755.
- King, W. R., & He, J. (2006). A meta-analysis of the technology acceptance model. *Information & Management*, 43(6), 740–755.
- Korpelainen, E. (2011). *Theories of ICT System Implementation and Adoption-A Critical Review*.
- Kort, B., & Reilly, R. (2001). An affective model of interplay between emotions and learning: Reengineering educational pedagogy—building a learning companion. In *IEEE International Conference on* (pp. 43–46).
- Kositaurit, B., Ngwenyama, O., & Osei-Bryson, K.-M. (2006). An exploration of factors that impact individual performance in an ERP environment: an analysis using multiple analytical techniques. *European Journal of Information Systems*, 15(6), 556–568.
- Kripanont, N. (2007). Examining a technology acceptance model of internet usage by academics within Thai business schools.
- Kum, S., Furusho, M., Duru, O., & Satir, T. (2007). Mental workload of the VTS operators by utilising heart rate. *TransNav, International Journal on Marine Navigation and Safety Od Sea Transportation*, 1(2).
- Kwon, O., & Wen, Y. (2010). An empirical study of the factors affecting social network service use. *Computers in Human Behavior*, 26(2), 254–263.
- Labbé, E., Schmidt, N., Babin, J., & Pharr, M. (2007). Coping with stress: the effectiveness of different types of music. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 32(3–4), 163–168.
- Lasa Erle, G., González Ochoantesana, I., Reguera Bakhache, D., & Etxebeste Larrañaga, U. (2017). UXER: NUEVA HERRAMIENTA PARA LA EVALUACIÓN HEURÍSTICA DE LA EXPERIENCIA EN ENTORNOS INTERACTIVOS Y DIGITALES.
- Laugwitz, B., Held, T., & Schrepp, M. (2008). Construction and evaluation of a user experience questionnaire. In *Symposium of the Austrian HCI and Usability Engineering Group* (pp. 63–76). Springer.
- Law, E. L. C., Roto, V., Hassenzahl, M., Vermeeren, A. P., & Kort, J. (2009). Understanding,

- scoping and defining user experience: a survey approach. In *Proceedings of the SIGCHI conference on human factors in computing systems* (pp. 179–728).
- Lending, D., & Straub, D. W. (1997). Impacts of an Integrated Information Center on faculty end-users: A qualitative assessment. *Journal of the American Society for Information Science*, 48(5), 466–471.
- León Rubio, J. M. (2004). *Psicología de la salud y de la calidad de vida*. Editorial UOC.
- Lockner, D., & Bonnardel, N. (2014). *Emotion and Interface Design How to measure interface design emotional effect?*
- López Sintas, J., Souto Nieves, G., & Van Hemmen, S. F. (2018). Innovación digital y transformación de las organizaciones: implicaciones sociales y laborales. *La Revolución Digital En España. Impacto y Retos Sobre El Mercado de Trabajo y El Bienestar*, 47–81.
- Lotero, L. A. A. (2012). Teoría de la carga cognitiva, diseño multimedia y aprendizaje: un estado del arte. *Magis, Revista Internacional de Investigación En Educación*, 5(10).
- Lund, A. M. (2001). Measuring usability with the USE questionnaire. *Usability Interface*, 8(2), 3–6.
- Ma, L., Chablat, D., Bennis, F., Zhang, W., & Guillaume, F. (2010). A new muscle fatigue and recovery model and its ergonomics application in human simulation. *Virtual and Physical Prototyping*, 5(3), 123–137.
- Madden, Thomas J and Ellen, Pamela Scholder and Ajzen, I. (1992). A comparison of the theory of planned behavior and the theory of reasoned action. *Personality and Social Psychology Bulletin*, 18, 2–9.
- Mahlke, S., & Minge, M. (2008). Consideration of multiple components of emotions in human-technology interaction. In *Affect and emotion in human-computer interaction* (pp. 51–62). Springer.
- Marquart, G., Cabrall, C., & de Winter, J. (2015). Review of eye-related measures of drivers' mental workload. *Procedia Manufacturing*, 3, 2854–2861.
- Masip Ardévol, L. (2013). User experience methodology for the design and evaluation of interactive systems. Universitat de Lleida.
- Mathieson, K. (1991). Predicting user intentions: comparing the technology acceptance model with the theory of planned behavior. *Information Systems Research*, 2, 173–191.
- Matthews, M. D., Pleban, R. J., Endsley, M. R., & Strater, L. D. (2000). Measures of infantry situation awareness for a virtual MOUT environment. In *Proceedings of the Human Performance, Situation Awareness and Automation: User Centred Design for the New Millennium Conference*.
- McCarthy, John and Wright, P. (2004). Technology as experience. *Interactions*, 11, 42–43.
- McGill, T. J., & Klobas, J. E. (2009). A task--technology fit view of learning management system impact. *Computers & Education*, 52(2), 496–508.
- McGuinness, B., & Foy, L. (2000). A subjective measure of SA: the Crew Awareness Rating Scale (CARS). In *Proceedings of the first human performance, situation awareness, and automation conference, Savannah, Georgia* (Vol. 16, pp. 286–291).
- Meza-Kubo, V., Morán, A. L., Carrillo, I., Galindo, G., & García-Canseco, E. (2016). Assessing the user experience of older adults using a neural network trained to recognize emotions from brain signals. *Journal of Biomedical Informatics*, 62, 202–209.
- Michael Rada. (2015). INDUSTRY 5.0 - from virtual to physical. Retrieved from <https://www.linkedin.com/pulse/industry-50-from-virtual-physical-michael-rada/>
- Miller, N. & Dollar, J. (1941). Social learning and imitation.
- Miller, S. (2001). Workload measures. *National Advanced Driving Simulator. Iowa City, United States*.
- MongoDB. (n.d.). Retrieved from <http://www.mongodb.org/>

- Moray, N. (2013). *Mental workload: Its theory and measurement* (Vol. 8). Springer Science & Business Media.
- Morville, P. (2005). Experience design unplugged. In *ACM SIGGRAPH 2005 Web program* (p. 10). ACM.
- Nachreiner, F. (1995). Standards for ergonomics principles relating to the design of work systems and to mental workload. *Applied Ergonomics*, 26(4), 259–263.
- Navarro Arancegui, M., & Sabalza Laskurain, X. (2016). Reflexiones sobre la Industria 4.0 desde el caso vasco. *Ekonomiaz*, (89), 143–173.
- Newell, A., & Simon, H. A. (1972). *Human problem solving*. Prentice-Hall Englewood Cliffs, NJ.
- Nielsen, J., Clemmensen, T., & Yssing, C. (2002). Getting access to what goes on in people's heads? Reflections on the think-aloud technique. In *Proceedings of the second Nordic conference on Human-computer interaction* (pp. 101–110).
- Norman, D. (2004). *Emotional design: Why we love (or hate) everyday things*.
- Norman, Don. (2013). *The design of everyday things: Revised and expanded edition*. Basic books.
- Paas, F., Tuovinen, J. E., Tabbers, H., & Van Gerven, P. W. M. (2003). Cognitive load measurement as a means to advance cognitive load theory. *Educational Psychologist*, 38(1), 63–71.
- Partala, T., & Kallinen, A. (2011). Understanding the most satisfying and unsatisfying user experiences: Emotions, psychological needs, and context. *Interacting with Computers*.
- Partala, T., & Saari, T. (2015). Understanding the most influential user experiences in successful and unsuccessful technology adoptions. *Computers in Human Behavior*, 53, 381–395.
- Pavlou, Paul A and Fygenson, M. (2006). Understanding and predicting electronic commerce adoption: An extension of the theory of planned behavior. *MIS Quarterly*, 115–143.
- Peruzzini, M., Grandi, F., & Pellicciari, M. (2018). Exploring the potential of Operator 4.0 interface and monitoring. *Computers & Industrial Engineering*, 105600.
- Peruzzini, M., & Pellicciari, M. (2017). A framework to design a human-centred adaptive manufacturing system for aging workers. *Advanced Engineering Informatics*, 33, 330–349.
- Pirker, M. (2011). Enhancing and Evaluating the User Experience of Interactive TV Systems and their Interaction Techniques. In *Proc. of Euroitv*.
- Popovic, D., Stikic, M., Berka, C., Klyde, D., & Rosenthal, T. (2013). PHYSIOPRINT: a workload assessment tool based on physiological signals. *Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications*, 31.
- Porat, T., & Tractinsky, N. (2012). It's a pleasure buying here: The effects of web-store design on consumers' emotions and attitudes. *Human-Computer Interaction*, 27(3), 235–276.
- Prensky, M. (2001). Digital natives, digital immigrants part 1. *On the Horizon*, 9, 1–6.
- Pulido, M. P., & Torrado, M. T. (2004). La teoría de la difusión de la innovación y su aplicación al estudio de la adopción de recursos electrónicos por los investigadores de la Universidad de Extremadura. *Revista Española de Documentación Científica*.
- PYME, S. G. D. I. Y. D. LA. (2017). La industria 4.0: El estado de la cuestión. *Economía Industrial*, (406), 151–164.
- Ramkumar, A., Stappers, P. J., Niessen, W. J., Adebahr, S., Schimek-Jasch, T., Nestle, U., & Song, Y. (2017). Using GOMS and NASA-TLX to Evaluate Human-Computer Interaction Process in Interactive Segmentation. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 33(2), 123–134.
- Rehmann, A. J. (1995). *Handbook of Human Performance Measures and Crew Requirements for Flightdeck Research*. CREW SYSTEM ERGONOMICS INFORMATION ANALYSIS CENTER WRIGHT-PATTERSON AFB OH.

- Rice, A. D., & Lartigue, J. W. (2014). Touch-level model (TLM): evolving KLM-GOMS for touchscreen and mobile devices. In *Proceedings of the 2014 ACM Southeast regional conference* (p. 53). ACM.
- Robey, D. (1979). User attitudes and management information system use. *Academy of Management Journal*, 22(3), 527–538.
- Roca, J. C., & Gagné, M. (2008). Understanding e-learning continuance intention in the workplace: A self-determination theory perspective. *Computers in Human Behavior*.
- Rogers, E.M. (1962). Diffusion of innovations. *New York: Free Press*.
- Rogers, Everett M. (1995). *Diffusion of Innovations, 4th Edition*. Free Press.
- Rogers, Everett M. (1995). Diffusion of Innovations: modifications of a model for telecommunications. In *Die diffusion von innovationen in der telekommunikation* (pp. 25–38). Springer.
- Romero, D., Noran, O., Stahre, J., Bernus, P., & Fast-Berglund, Å. (2015). Towards a human-centred reference architecture for next generation balanced automation systems: human-automation symbiosis. In *IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems* (pp. 556–566). Springer.
- Romero, D., Stahre, J., Wuest, T., Noran, O., Bernus, P., Fast-Berglund, Å., & Gorecky, D. (2016). Towards an operator 4.0 typology: a human-centric perspective on the fourth industrial revolution technologies. In *Proceedings of the International Conference on Computers and Industrial Engineering (CIE46), Tianjin, China* (pp. 29–31).
- Roto, V., Kaasinen, E., Heimonen, T., Karvonen, H., Jokinen, J. P. P., Mannonen, P., ... Koskinen, K. (2017). Utilizing Experience Goals in Design of Industrial Systems.
- Rubio, S., Díaz, E., Martín, J., & Puente, J. M. (2004). Evaluation of subjective mental workload: A comparison of SWAT, NASA-TLX, and workload profile methods. *Applied Psychology*, 53(1), 61–86.
- Rußmann, M., Lorenz, M., Gerbert, P., Waldner, M., Justus, J., Engel, P., & Harnisch, M. (2015). *Industry 4.0 The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries*.
- Savioja, P., & Norros, L. (2008). Systems usability—promoting core-task oriented work practices. In *Maturing Usability* (pp. 123–143). Springer.
- Savioja, P., & Norros, L. (2013). Systems usability framework for evaluating tools in safety-critical work. *Cognition, Technology & Work*, 15(3), 255–275.
- Schade, J., & Schlag, B. (2003). *Acceptability of transport pricing strategies*. Elsevier Amsterdam.
- Schierz, P. G., Schilke, O., & Wirtz, B. W. (2010). Understanding consumer acceptance of mobile payment services: An empirical analysis. *Electronic Commerce Research and Applications*, 9(3), 209–216.
- Selwyn, N. (2004). Reconsidering Political and Popular Understandings of the Digital Divide. *New Media & Society*, 6(3), 341–362.
- Shaffer, D., Doube, W., & Tuovinen, J. (2003). Applying Cognitive load theory to computer science education. In *PPIG* (p. 12).
- Sharma, N., & Gedeon, T. (2012). Objective measures, sensors and computational techniques for stress recognition and classification: A survey. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 108(3), 1287–1301.
- Sheldon, K. M., Elliot, A. J., Kim, Y., & Kasser, T. (2001). What is satisfying about satisfying events? Testing 10 candidate psychological needs. *Journal of Personality and Social Psychology*, 80(2), 325–339.
- Sheppard, B. H., Hartwick, J., & Warshaw, P. R. (1988). The Theory of Reasoned Action: A Meta-Analysis of Past Research with Recommendations for Modifications and Future Research. *Journal of Consumer Research*, 15(3), 325.
- Shneiderman, B. (2004). Designing for fun: how can we design user interfaces to be more fun?

- Interactions*, 11(5), 48–50.
- Shneiderman, B., & Plaisant, C. (2003). *Designing the User Interface: Preview*. Addison Wesley.
- Smit, J., Kreuzer, S., Moeller, C., & Carlberg, M. (2016). *Industry 4.0, Study for the ITRE Committee, Policy Department A: Economic and Scientific Policy, European Parliament*. Brussels.
- Sørebø, Ø., Halvari, H., Gulli, V. F., & Kristiansen, R. (2009). The role of self-determination theory in explaining teachers' motivation to continue to use e-learning technology. *Computers & Education*.
- Staples, D. S., & Seddon, P. (2004). Testing the Technology-to-Performance Chain Model. *Journal of Organizational and End User Computing*, 16(4), 17–36.
- Straub, E. T. (2009). Understanding technology adoption: Theory and future directions for informal learning. *Review of Educational Research*, 79, 625–649.
- Swanson, R. A. (1987). Training technology system: A method for identifying and solving training problems in industry and business. *Journal of Industrial Teacher Education*, 24(4), 7–17.
- Sward, D., & Macarthur, G. (2007). Making user experience a business strategy. In E. Law et al.(eds.), *Proceedings of the Workshop on Towards a UX Manifesto* (Vol. 3, pp. 35–40).
- Taylor, Shirley and Todd, P. A. (1995). Understanding information technology usage: A test of competing models. *Information Systems Research*, 6, 144–176.
- Taylor, R. M. (1990). Situational Awareness Rating Technique (SART): The development of a tool for aircrew systems design. AGARD. *Situational Awareness in Aerospace Operations*, 17, 23–53.
- Tello, E. (2007). Las tecnologías de la información y comunicaciones (TIC) y la brecha digital: su impacto en la sociedad de México. *International Journal of Educational Technology in Higher Education (ETHE)*, 4.
- Thompson, R. L., Higgins, C. A., & Howell, J. M. (1991). Personal computing: toward a conceptual model of utilization. *MIS Quarterly*, 125–143.
- Thüring, M., & Mahlke, S. (2007a). Usability, aesthetics and emotions in human–technology interaction. *International Journal of Psychology*, 42(4), 253–264.
- Thüring, M., & Mahlke, S. (2007b). Usability, aesthetics and emotions in human–technology interaction. *International Journal of Psychology*, 42(4), 253–264. <https://doi.org/10.1080/00207590701396674>
- Tobiipro. (2018). No Title. Retrieved from www.tobiipro.com
- Triandis, H. C. (1979). Values, attitudes, and interpersonal behavior. In *Nebraska symposium on motivation*. University of Nebraska Press.
- Tsang, P. S., & Velazquez, V. L. (1996). Diagnosticity and multidimensional subjective workload ratings. *Ergonomics*, 39(3), 358–381.
- V. Venkatesh. (1999). Creation of favorable user perceptions: exploring the role of intrinsic motivation. *MIS Quarterly*, 239–260.
- Van der Heijden, H. (2004). User acceptance of hedonic information system.
- Venkatesh, V., & Bala, H. (2008). Technology acceptance model 3 and a research agenda on interventions. *Decision Sciences*, 39(2), 273–315.
- Venkatesh, V., & Davis, F. D. (2000). A theoretical extension of the technology acceptance model: Four longitudinal field studies. *Management Science*, 46(2), 186–204.
- Venkatesh, V., Morris, M. G., Davis, G. B., & Davis, F. D. (2003). User acceptance of information technology: Toward a unified view. *MIS Quarterly*, 425–478.
- Vessey, I. (1991). Cognitive Fit: A Theory-Based Analysis of the Graphs Versus Tables Literature. *Decision Sciences*, 22(2), 219–240.

- Vidulich, M. A., & Tsang, P. S. (1987). Absolute magnitude estimation and relative judgement approaches to subjective workload assessment. In *Proceedings of the Human Factors Society Annual Meeting* (Vol. 31, pp. 1057–1061). SAGE Publications Sage CA: Los Angeles, CA.
- Vijayarathy, L. R. (2004). Predicting consumer intentions to use on-line shopping: the case for an augmented technology acceptance model. *Information & Management*, 41(6), 747–762.
- Von Saucken, C., & Gomez, R. (2014). Unified user experience model enabling a more comprehensive understanding of emotional experience design. In *Proceedings of the 9th International Conference on Design and Emotion: The Colors of Care* (pp. 631–640). Universidad de Los Andes.
- von Saucken, C., Michailidou, I., & Lindemann, U. (2013). How to design experiences: macro UX versus micro UX approach. In *International Conference of Design, User Experience, and Usability* (pp. 130–139).
- Vygotsky, L. S. (1980). *Mind in society: The development of higher psychological processes*. Harvard university press.
- Waag, W. L., & Houck, M. R. (1994). Tools for assessing situational awareness in an operational fighter environment. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*.
- Watson, D., & Clark, L. A. (1999). The PANAS-X: Manual for the positive and negative affect schedule-expanded form.
- Wenger, J. L., & Carlson, R. A. (1995). Learning and the coordination of sequential information. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 21(1), 170.
- Wickens, C. D. (2008). Multiple resources and mental workload. *Human Factors*, 50(3), 449–455.
- Wierwille, W. W., & Eggemeier, F. T. (1993). Recommendations for mental workload measurement in a test and evaluation environment. *Human Factors*, 35(2), 263–281.
- Wilson, J. R. (2000). Fundamentals of ergonomics in theory and practice. *Applied Ergonomics*, 31(6), 557–567.
- Wilson, J. R., & Sharples, S. (2015). *Evaluation of human work*. CRC press.
- Wright, P., Wallace, J., & McCarthy, J. (2008). Aesthetics and experience-centered design. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction (TOCHI)*, 15, 18.
- Wright, M. C., Taekman, J. M., & Endsley, M. R. (2004). Objective measures of situation awareness in a simulated medical environment. *BMJ Quality & Safety*, 13(suppl 1), i65–i71.
- Wright, P., Wallace, J., & McCarthy, J. (2008). Aesthetics and experience-centered design. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction (TOCHI)*, 15(4), 18.
- Xie, B., & Salvendy, G. (2000). Review and reappraisal of modelling and predicting mental workload in single-and multi-task environments. *Work & Stress*, 14(1), 74–99.
- Yayla, Ali Alper & Hu, Q. (2007). User Acceptance of E-Commerce Technology: A Meta-Analytic Comparison of Competing Models. In *ECIS* (pp. 179–190).
- Zimmermann, P. G. (2008). *Beyond Usability: Measuring Aspects of User Experience*. ETH.

Capítulo VI

ANEXOS

6 ANEXOS

En este apartado se recogen los anexos relacionados con los trabajos desarrollados durante la tesis doctoral.

6.1 LISTADO DE VERIFICACIÓN

Tabla 47: Listado de verificación para una interfaz industrial

GESTIÓN DE FICHEROS
La interfaz contiene un título o encabezamiento que describe el contenido de la pantalla.
La interfaz gráfica es consistente en cada una de las pantallas.
La interfaz contiene un buscador preciso.
La información está organizada jerárquicamente, de lo general a lo específico y las listas ordenadas alfabéticamente, facilitando la encontrabilidad de datos.
Acceso rápido a elementos habituales – las comandos y botones de acción usados más frecuentemente se encuentran en posiciones más accesibles (p. ej. Existe una barra de herramientas que contiene los comandos más utilizaos como “nuevo grupo” o “editar pieza”).
Disposición visual adecuada para ayudar a identificar comandos - La barra de herramientas debe estar ubicado en la misma parte de la interfaz, manteniendo la consistencia en cada una de las secciones como (p. ej. en piezas, herramientas, operaciones, etc.) .
Los comandos son descriptivos (para qué es esto).
Existe la posibilidad de seleccionar varios ítems a la vez.
El sistema ofrece visibilidad: se muestran de manera obvia los ítems seleccionados.
Existe opción de agrupar y categorizar elementos y ficheros.
Existe opción de crear ficheros partiendo de otros ya creados.
Utilización de espacios, líneas, colores, letras, títulos resaltados, líneas de separación o áreas sombreadas para agrupar elementos relacionados e identificar grupos significativos.
Opción para previsualizar detalles de los elementos y ficheros.

Existen elementos visuales para identificar el estado de los ficheros.
Se ofrece información acerca del estado del elemento / de la operación (ej. “sin configurar”, “ejecutando” etc.
La terminología utilizada es consistente con el dominio de conocimiento del usuario en relación a la tarea.
Se pregunta al usuario que confirme acciones que pueden tener consecuencias serias.
Los mensajes de error sugieren la causa del problema que los ha ocasionado.
Los mensajes de error indican al usuario la acción que debe realizar para corregir el error correspondiente.
Ayuda sensible al contexto – sección .
INTRODUCCIÓN DE PARÁMETROS
La interfaz contiene un título o encabezamiento que describe el contenido de la pantalla.
La interfaz gráfica es consistente en cada una de las pantallas.
El despliegue de datos comienza en la parte superior izquierda de la interfaz.
Se agrupan los ítems en zonas lógicas, utilizando encabezamientos para distinguir dichas zonas.
Espacios en blanco para crear simetrías y guiar al ojo del usuario en la dirección apropiada.
La interfaz permite incluir grupos de datos en una misma pantalla, esto es, se pueden añadir diversos parámetros en una misma visualización.
Los campos de entrada de datos contienen etiquetas.
Los campos de entrada de datos que son opcionales, están claramente marcados.
Se indican valores máximos que aceptan los campos de entrada de datos .
Los campos de entrada de datos y cajas de diálogo contienen valores por defecto cuando corresponde.
El usuario puede cambiar los valores predeterminados en los campos de los parámetros.
Se puede reducir el tiempo de entrada de datos copiando y modificando datos

existentes.
El sistema ingresa automáticamente el signo de decimales como comas.
Feedback visual para cada acción u operación realizada – ej. Si se ha completado un campo, el contorno de la casilla cambia de color.
Si las listas de menús desplegables son largas (más de siete ítems), los usuarios pueden seleccionar un ítem moviendo la barra de desplazamiento.
La interfaz dispone de teclas y funciones más utilizadas en posiciones accesibles.
Existen pistas visuales y espacios en blanco para distinguir y/o relacionar los elementos en las interfaces.
Los parámetros están agrupados de forma lógica.
Los campos de entrada de datos tienen el suficiente tamaño para que los usuarios los puedan pulsar fácilmente.
Mismo color para identificar grupos significativos y agrupar elementos relacionados.
El sistema provee visibilidad: se muestra de manera obvia los campos rellenos
Se muestra el estado de los campos y entrada de datos y cajas de diálogo
Se evita memorizar/retener información entre pantallas.
Requerimiento de tecleo mínimo para la navegación entre campos y secciones de la interfaz (P.ej Facilitar navegación entre casillas mediante comandos como flechas).
Existe función de “deshacer”.
La terminología utilizada es consistente con el dominio de conocimiento del usuario en relación a la tarea.
Los mensajes de error están expresados de manera tal que no se genera alarma.
Los mensajes de error sugieren la causa del problema que los ha ocasionado.
Los mensajes de error indican al usuario la acción que debe realizar para corregir el error correspondiente.
Si se detectan errores en campos de entrada de datos, el sistema posiciona el cursor en ese campo o lo resalta de alguna forma.
El sistema alerta/previene a los usuarios si están a punto de cometer errores.
Se muestran todos los datos que necesita el usuario.

Los iconos poseen etiquetas.
El texto es fácil de ojear, está bien organizado, contiene títulos, subtítulos, párrafos cortos y frases no demasiado largas.
El sistema ofrece ayuda sensible al contexto
EJECUCIÓN
La interfaz contiene un título o encabezamiento que describe el contenido de la pantalla.
La interfaz gráfica es consistente en cada una de las pantallas.
La interfaz es interpretativa, tiene que responder a la pregunta “¿por qué ha sucedido esto?” en caso de que la interfaz cambie de estado.
La interfaz es navegacional: Responde a la pregunta ¿Dónde estoy?
La interfaz está orientado a la meta: se conoce el objetivo, responde a la pregunta “se lo que debo hacer”.
La estructura del menú coincide con la estructura de tareas.
Los ítems y/o información se ordenan/categorizan por orden de importancia.
Las teclas de función usadas más frecuentemente se encuentran en posiciones más accesibles.
El sistema ofrece información guiada para ejecutar la tarea.
El sistema espera alguna señal o indicación del usuario antes de procesar la tarea.
El estado de ejecución se muestra de forma clara.
La barra de progreso ofrece información sobre los tiempos de ejecución y el tiempo restante a la finalización de la pieza.
Se facilitan diversas visualizaciones de pantalla.
Se ofrece información necesaria para mantener el control de la máquina y el estado del proceso.
El sistema ofrece medios audiovisuales para complementar la información.
Si existen demoras mayores a 15 segundos en las respuestas del sistema, el usuario es informado.
Los usuarios pueden cancelar operaciones en progreso.

Los usuarios se pueden mover entre secciones.
Se pregunta al usuario que confirme acciones que tendrán consecuencias serias.
El sistema ofrece feedback cuando se realizan acciones de forma exitosa y soluciones para corregir el error correspondiente.
Al completar los pasos para poder ordenar la ejecución de la pieza, el sistema espera alguna señal del usuario antes de procesar la tarea.

6.2 CUESTIONARIO USE (Lund, 2001)

UTILIDAD		1	2	3	4	5	6	7	
1. Me ayuda a ser eficaz.	DESACUERDO	<input type="radio"/>	DE ACUERDO						
2. Me ayuda a ser productivo.	DESACUERDO	<input type="radio"/>	DE ACUERDO						
3. Es útil.	DESACUERDO	<input type="radio"/>	DE ACUERDO						
4. Me da más control sobre las actividades de mi día a día.	DESACUERDO	<input type="radio"/>	DE ACUERDO						
5. Hace que las cosas que quiero lograr sean mas fáciles de conseguir/ hacer.	DESACUERDO	<input type="radio"/>	DE ACUERDO						
6. Ahorro tiempo cuando lo uso.	DESACUERDO	<input type="radio"/>	DE ACUERDO						
7. Satisface mis necesidades.	DESACUERDO	<input type="radio"/>	DE ACUERDO						
8. Hace todo lo que yo esperaría que hiciera.	DESACUERDO	<input type="radio"/>	DE ACUERDO						

FACILIDAD DE USO		1	2	3	4	5	6	7	
9. Es fácil de usar.	DESACUERDO	<input type="radio"/>	DE ACUERDO						
10. Es simple de usar.	DESACUERDO	<input type="radio"/>	DE ACUERDO						
11. Su uso es amigable.	DESACUERDO	<input type="radio"/>	DE ACUERDO						
12. Requiere el menor número de pasos posibles para lograr lo que quiero hacer con él.	DESACUERDO	<input type="radio"/>	DE ACUERDO						
13. Es flexible.	DESACUERDO	<input type="radio"/>	DE ACUERDO						
14. Su uso es muy sencillo.	DESACUERDO	<input type="radio"/>	DE ACUERDO						
15. Puedo usarlo sin instrucciones escritas.	DESACUERDO	<input type="radio"/>	DE ACUERDO						
16. No noto ninguna inconsistencia al usarlo.	DESACUERDO	<input type="radio"/>	DE ACUERDO						
17. A los usuarios habituales y ocasionales les gustaría.	DESACUERDO	<input type="radio"/>	DE ACUERDO						
18. Puedo corregir rápido y fácilmente los errores.	DESACUERDO	<input type="radio"/>	DE ACUERDO						
19. Puedo utilizarlo bien en todos sus usos.	DESACUERDO	<input type="radio"/>	DE ACUERDO						

FACILIDAD DE APRENDIZAJE		1	2	3	4	5	6	7	
20. He aprendido a utilizarlo rápido.	DESACUERDO	<input type="radio"/>	DE ACUERDO						
21. Es fácil de recordar como de usa.	DESACUERDO	<input type="radio"/>	DE ACUERDO						
22. Es fácil de aprender a usarlo.	DESACUERDO	<input type="radio"/>	DE ACUERDO						

23.	En poco tiempo me volví hábil con él.	DESACUERDO	<input type="radio"/>	DE ACUERDO						
SATISFACCIÓN			1	2	3	4	5	6	7	
24.	Estoy satisfecho con él.	DESACUERDO	<input type="radio"/>	DE ACUERDO						
25.	Se lo recomendaría a un amigo.	DESACUERDO	<input type="radio"/>	DE ACUERDO						
26.	Funciona de la manera que quiero que funcione.	DESACUERDO	<input type="radio"/>	DE ACUERDO						
27.	Siento que me ayuda a realizar las tareas.	DESACUERDO	<input type="radio"/>	DE ACUERDO						
28.	Es agradable de usar.	DESACUERDO	<input type="radio"/>	DE ACUERDO						
29.	He ejecutado las tareas de forma autónoma.	DESACUERDO	<input type="radio"/>	DE ACUERDO						
30.	Me he sentido seguro al usarlo.	DESACUERDO	<input type="radio"/>	DE ACUERDO						

6.3 LISTADO DE VERIFICACIÓN PARA UNA INTERFAZ DE VISUALIZACIÓN DE DATOS

CONFIGURACIÓN DE DATOS
Se pregunta al usuario que confirme acciones que pueden tener consecuencias serias o cambios para el sistema (tales como cambiar factores de consumo).
Ayuda sensible al contexto – sección.
Los campos de entrada de datos tienen el suficiente tamaño para que los usuarios los puedan pulsar fácilmente.

Los campos de entrada de datos contienen etiquetas.
Los campos de entrada de datos y cajas de diálogo contienen valores por defecto cuando corresponde.
Se indican valores máximos que aceptan los campos de entrada de datos.
Se ofrece feedback visual para cada acción u operación realizada – ej. Si se ha completado un campo, el contorno de la casilla cambia de color.
El sistema provee visibilidad: se muestra de manera obvia los campos rellenos.
Se muestra el estado de los campos y entrada de datos y cajas de diálogo.
Existe función de “deshacer” para las acciones realizadas.
En el caso de que existan errores, los mensajes de error sugieren la causa del problema que los ha ocasionado.
Los mensajes de error indican al usuario la acción que debe realizar para corregir el error correspondiente.
Los mensajes de error están expresados de manera tal que no se genera alarma.
Si se detectan errores en campos de entrada de datos, el sistema posiciona el cursor en ese campo o lo resalta de alguna forma.
INTERPRETACIÓN DE DATOS
La interfaz contiene un título o encabezamiento que describe el contenido de la pantalla.
La interfaz gráfica es consistente en cada una de las pantallas para la visualización de datos.
El texto es fácil de ojear, está bien organizado, contiene títulos, subtítulos, párrafos cortos y frases no demasiado largas.
Los ítems y/o información se ordenan/categorizan por orden de importancia facilitando la encontrabilidad de datos.
La interfaz proporciona una disposición visual adecuada para ayudar a identificar

elementos e interpretar datos.
Existen elementos visuales para ayudar a identificar el estado de los consumos
La terminología utilizada es consistente con el dominio de conocimiento del usuario en relación a la tarea.
Los parámetros están agrupados de forma lógica.
Se utilizan los mismos colores para identificar grupos significativos y agrupar elementos relacionados.
Se evita memorizar/retener información entre pantallas.
Se muestran todos los datos y etiquetas que necesita el usuario para la interpretación de datos.
Los iconos poseen etiquetas.
Los gráficos contienen leyenda y son fácilmente interpretables.
Se facilitan diversas visualizaciones de pantalla.
BÚSQUEDA DE INFORMACIÓN
La interfaz contiene un título o encabezamiento que describe el contenido de la pantalla.
La interfaz gráfica es consistente en cada una de las pantallas para la visualización de datos.
La interfaz contiene un buscador preciso.
La estructura del menú coincide con la información que ofrece el programa.
El despliegue de datos comienza en la parte superior izquierda de la interfaz.
El sistema ofrece información guiada para buscar la información requerida.
Se proporcionan características para el tecleo mínimo con el objetivo de encontrar los datos requeridos.

<p>La interfaz dispone de elementos y funciones usados más frecuentemente en posiciones accesibles (p. ej los datos que se visualizan de una forma habitual).</p>
<p>Los ítems se agrupan en zonas lógicas, utilizando encabezamientos para distinguir dichas zonas.</p>
<p>Existen espacios en blanco para crear simetrías y guiar al ojo del usuario en la dirección apropiada.</p>
<p>Los campos de entrada de datos contienen etiquetas.</p>
<p>Si las listas de menús desplegados son largas (más de siete ítems), los usuarios pueden seleccionar un ítem moviendo la barra de desplazamiento.</p>
<p>Los gráficos son interactivos y el usuario puede buscar la información requerida.</p>
<p>Los iconos poseen etiquetas.</p>
<p>Existen pistas visuales (líneas, colores, letras, títulos resaltados, líneas de separación o áreas sombreadas) y espacios en blanco para distinguir y/o relacionar los elementos en las interfaces.</p>
<p>La terminología utilizada es consistente con el dominio de conocimiento del usuario en relación a la tarea.</p>
<p>El texto es fácil de ojear, está bien organizado, contiene títulos, subtítulos, párrafos cortos y frases no demasiado largas.</p>