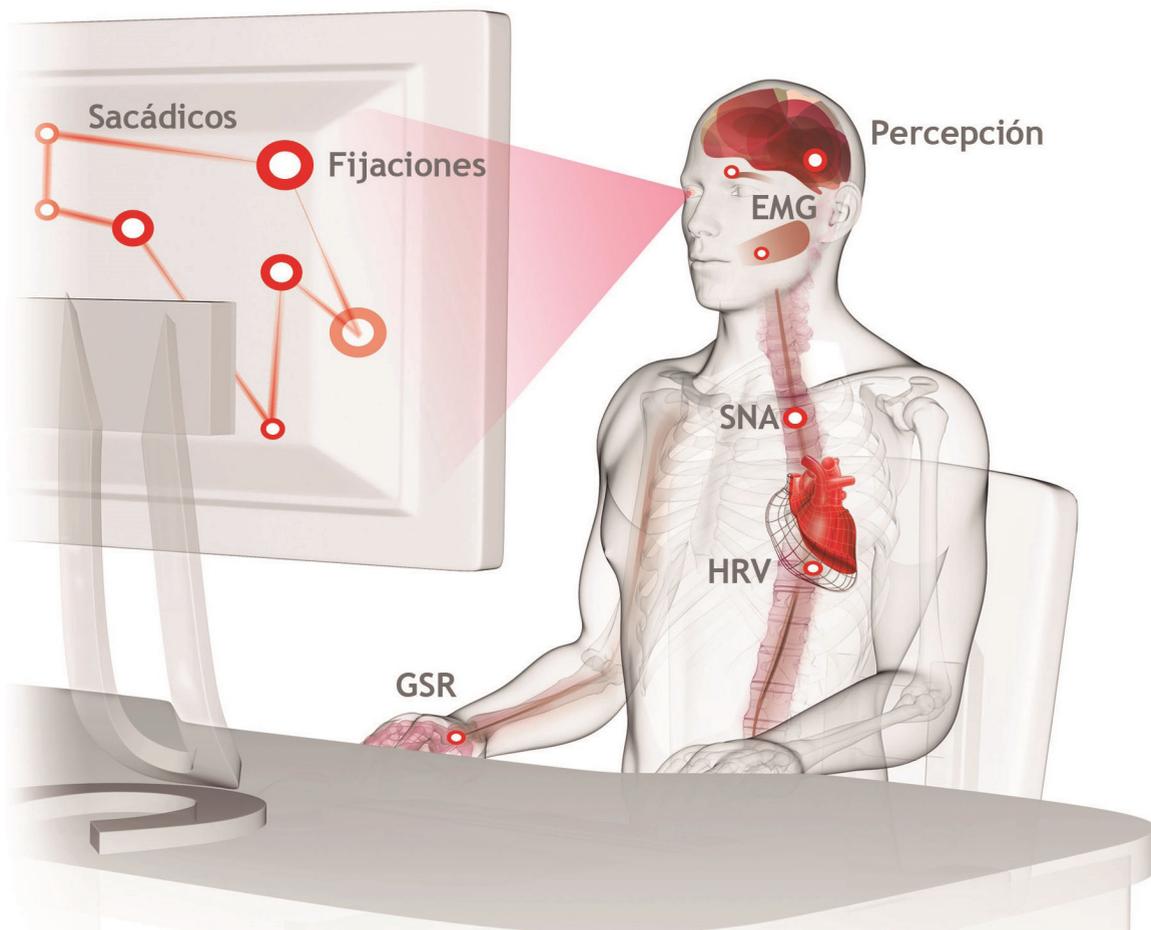


Evaluación de la usabilidad web mediante

el análisis de la mirada y la respuesta fisiológica.

Influencia de las características del usuario.



Autor:
José Laparra Hernández



Directores:
Álvaro Page del Pozo
Juan Manuel Belda Lois

UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA

Valencia, 2015

**Programa de doctorado en Tecnologías para
la Salud y el Bienestar**



UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA

Instituto de Biomecánica de Valencia
Programa de Doctorado en Tecnologías para la Salud y el
Bienestar

Evaluación de la usabilidad web mediante el análisis de la mirada y la respuesta fisiológica. Influencia de las características del usuario.

Tesis doctoral

Presentada por:
José Laparra Hernández

Directores:
Álvaro Page del Pozo
Juan Manuel Belda Lois

Valencia, 24 de febrero de 2015

A Vanesa y José Daniel ...

... mi luz, mi fuerza, mi remanso de paz.

A mis padres, mi hermana y mis abuelos ...

... por una paciencia infinita.

Agradecimientos

Esta Tesis no hubiera sido posible sin la colaboración de tres grupos de personas: las personas involucradas en los proyectos, las personas que me han guiado en mi camino profesional y mi familia y amigos.

Quiero dar las gracias a todas las personas que han participado de un modo u otro en los distintos proyectos que han dado lugar a esta Tesis. Desde los 30 usuarios que decidieron participar en los ensayos para poder evaluar el efecto de las recomendaciones de usabilidad, hasta el conjunto de compañeros del IBV que han trabajado codo a codo conmigo en los distintos proyectos que han derivado en esta Tesis. Me gustaría enumerarlos a todos y a todas pero el listado sería demasiado extenso y estoy seguro que me dejaría a bastantes y no sería justo, ya que muchos ya no son solo compañeros sino grandes amigos.

Sin embargo, dentro de este grupo quiero destacar a cuatro personas que me acogieron desde que llegué al IBV y guiaron mi formación: Juanma, Rakel, Ricard y Juanvi, muchas gracias!! Todos ellos fueron mis tutores, de todos ellos aprendí, y si hoy en día soy el investigador que soy, es gracias a su constancia y a su incesante labor de formarme en cada uno de los ámbitos en los que ellos son expertos. Llegué con una carrera bajo el brazo pero los conocimientos y habilidades que llevo hoy en día en mi mochila se lo debo a ellos.

Más ardua ha sido, si cabe, la labor de Juanma, ya que no solo me ayudó en mi proceso de formación sino que ha tenido que aguantar, junto a Álvaro, mis infinitas versiones de esta Tesis. Si finalmente esta Tesis es de una calidad adecuada y ligeramente agradable a la lectura (eso espero!!!) es sin duda mérito de ellos dos, que no han desistido hasta que el resultado ha sido el deseado.

Si las anteriores personas han sido clave en mi carrera profesional, no sería la persona que soy hoy en día sin mi familia. Sin su apoyo y constante ayuda no sería quién soy ahora, por lo que no tengo más que palabras de agradecimiento por no desistir nunca a pesar de las piedras que han ido apareciendo en mi camino. Mis padres, José y Chelo, que me lo dieron todo; mi hermana, Raquel, que siempre ha sido un reflejo de profesionalidad y honestidad; mis abuelos,

Consuelo, Paco, Pepe y Catalina, que han sido un ejemplo de superación y de lo que cuestan de verdad las cosas, y con los que ya solo puedo hablar con la primera.

Ellos lo han sido todo y lo seguirán siendo pero desde hace ya una década, hay un persona clave en mi vida, Vanesa, mi novia y desde hace unos años, la madre de mi hijo. No sé dónde estaría ahora ni quién sería si no hubiera entrado en mi vida. Gracias por tu paciencia infinita, siempre aderezada con tu “suave” carácter. Gracias por darme a José Daniel, la única persona que consigue que desaparezca cualquier preocupación y que los días sean soleados.

Gracias a la ayuda de mi familia, y a la de mi “otra” familia, Walter, Cristina, Zulma, Christian, Concha y Cande, he podido disponer del suficiente tiempo y ánimo para poder elaborar esta Tesis, que, como diría alguno de ellos, empezaba a parecerse a la Sagrada Familia, siempre en constante trabajo y remodelación. No Raquel, no me olvido de tu novio, Jonatan, quién además ha tenido el detalle de ilustrar la portada para cubrir mis carencias artísticas.

En cuanto a mis amigos, Rubén, Felix, Charly, José y Migue.... Sí, por fin he acabado..... parece que seré Doctor!! Aunque no podré pasar consulta...

Por último, no me gustaría acabar sin agradecer al IBV por permitir formarme profesionalmente durante los últimos 8 años y facilitarme todos los medios necesarios para la realización de esta Tesis, así como por poner a mi disposición todo el tiempo necesario para su finalización.

Resumen

Las personas mayores y personas con discapacidad se pueden beneficiar de los servicios de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) para potenciar su autonomía personal. Sin embargo, la falta de adaptación de los servicios TIC a sus necesidades, capacidades y habilidades ha provocado el efecto contrario, la exclusión de la Sociedad de la Información.

Durante los últimos años se han realizado considerables esfuerzos para mejorar la Accesibilidad de dichos servicios, en especial los sitios web, para garantizar el acceso a todos los usuarios con independencia de sus capacidades. El problema es que garantizar su acceso no asegura que la interacción sea sencilla, intuitiva y satisfactoria. Para ello es necesario mejorar la usabilidad web. Aunque es difícil de definir, la usabilidad conlleva diversos conceptos como efectividad, eficiencia, satisfacción y aprendizaje.

En la actualidad existen diversas guías con pautas y recomendaciones de usabilidad proporcionadas por expertos. Sin embargo, en muchos casos, dichas recomendaciones no han sido validadas mediante usuarios. Además, en los casos que han participado usuarios, casi siempre se limita al uso de metodologías subjetivas y/o cualitativas como cuestionarios o variables básicas como la medida de tiempos y errores, las cuales no son las más adecuadas, especialmente cuando los usuarios son personas mayores o personas con discapacidad.

En esta Tesis se propone el uso de tecnologías innovadoras, como el análisis de la respuesta fisiológica y el seguimiento de la mirada, para extraer información cuantitativa y de detalle en tiempo real durante la interacción de los usuarios con la web. Mediante el uso estas técnicas se han analizado las 3 hipótesis de partida: (1) las recomendaciones de experto necesitan ser validadas por usuarios, (2) dichas recomendaciones dependen del perfil de usuario, y (3) las nuevas variables propuestas permiten detectar mejor el efecto de las recomendaciones que las variables tradicionales.

Para ello, se ha planteado un plan de trabajo en 4 grandes fases, incluida una revisión del estado del arte (fase 1) en la que se han recopilado un amplio conjunto de recomendaciones de usabilidad y de variables para su evaluación.

En la fase 2, se han escogido 7 de las recomendaciones más implantadas en sitios web donde la accesibilidad es de obligado cumplimiento: disponer de la opción “Ir a inicio”; disponer de la opción “Ir arriba”; disponer de “Mapa web”; disponer de la funcionalidad “Señalar y hacer clic”; no utilizar “Imagen de fondo”; disponer de la funcionalidad “Migas” (Información contextual o “breadcrumb”); y utilizar un menú adecuado. Además, se ha analizado la

relación de dichas recomendaciones con la tipología de web y el nivel de accesibilidad.

En la fase 3, se han desarrollado 17 estilos CSS (Cascade Style Sheets) sobre un mismo contenido web para disponer de un diseño controlado de la presencia/ausencia de las distintas recomendaciones. A continuación, se ha puesto a punto un protocolo y un conjunto de variables (algoritmos de pre-procesado, normalizaciones, selección de variables, etc.) para evaluar la respuesta fisiológica y el seguimiento de la mirada, que ha sido refinado mediante la realización de un estudio piloto con 8 usuarios. Además, se ha realizado un diseño de experimentos para tener controlado y equilibrado el ensayo en el que han participado 10 usuarios control y 10 usuarios con limitación motora, pero que podían manejar un ratón convencional, para poder evaluar el efecto del perfil de usuario. Cada usuario ha asistido a 3 sesiones y ha realizado en cada una de ellas 3 repeticiones de un conjunto de 9 tareas.

En la fase 4, se han analizado los datos obtenidos provenientes de cuestionarios, medida de tiempos, finalización de la tarea, respuesta fisiológica (conductividad de la piel: GSR y variabilidad del ritmo cardíaco: HRV; y electromiografía sobre el corrugador y el zigomático: EMGc y EMGz) y seguimiento de la mirada (número de fijaciones, número de fijaciones por segundo, amplitud de los sacádicos y ratio de duración entre los sacádicos y las fijaciones). Para ello se ha realizado un modelo común con los siguientes factores: las 7 recomendaciones de usabilidad, la sesión, la repetición, la presencia de limitación motora (perfil de usuario) y la interacción de ésta con el resto de factores; para poder evaluar las 3 hipótesis de partida. Además, se ha realizado un análisis de correlaciones entre las variables de los distintos niveles (nivel 1: 2 variables subjetivas generales; nivel 2: 5 componentes principales del cuestionario; nivel 3: finalización de la tarea y tiempo empleado; y nivel 4: variables fisiológicas y del seguimiento de la mirada) para definir un modelo de usabilidad.

A partir de este trabajo de investigación se han extraído ocho resultados principales:

En primer lugar, se ha comprobado que las recomendaciones elegidas no dependían del sitio web y su presencia o ausencia no está correlacionada con el nivel de accesibilidad de los 124 sitios web analizados. Por lo tanto, el cumplimiento de los requisitos de accesibilidad no asegura que una web sea fácil de utilizar.

En segundo lugar, se ha comprobado que si bien la mayoría de las recomendaciones seleccionadas mejoran la usabilidad del conjunto de los usuarios, en algunas recomendaciones como “Ir arriba” o “Señalar y hacer clic” su efecto no estaba del todo claro o incluso tenían un efecto negativo. Estos resultados ponen de manifiesto la necesidad de validar las recomendaciones de experto

mediante la participación de usuarios, lo que ha permitido validar la hipótesis 1.

En tercer lugar, se ha comprobado que la adecuación de dichas recomendaciones varían notablemente en función del perfil de usuario. Si bien la mayoría de recomendaciones, a excepción de las mencionadas anteriormente, mejoran la usabilidad para los usuarios con limitación motora; muchas de las recomendaciones no tienen ningún efecto o incluso un efecto negativo en los usuarios control. Este resultado apoya la necesidad de adecuar las distintas recomendaciones en función del perfil de usuario, lo que ha permitido validar la hipótesis 2.

En cuarto lugar, los resultados obtenidos muestran que las metodologías propuestas, basadas en la respuesta fisiológica y el seguimiento de la mirada, permiten detectar el efecto de todas las recomendaciones web y su interacción con el perfil de usuario con el nivel de significación más alto ($p < 0,001$). Por lo tanto, son mucho más sensibles que los cuestionarios o la finalización de la tarea, y sensiblemente mejores a los resultados obtenidos mediante el análisis del tiempo empleado para finalizar la tarea, lo que ha permitido validar la hipótesis 3. Además, se ha observado diferencias notables entre el perfil de usuario, ya que mientras que los usuarios con limitación motora ven alterada su respuesta fisiológica y su trayectoria visual en función de la presencia de las distintas recomendaciones, las principales variaciones en los usuarios control se deben al tiempo empleado en finalizar la tarea. El Diseño Universal es una buena aproximación para facilitar la interacción al mayor número de personas posible, pero es necesario personalizar, cuando sea posible, las características del diseño a las necesidades específicas de cada grupo de población.

En quinto lugar, se ha caracterizado los procesos de adaptación y aprendizaje a lo largo de las repeticiones y sesiones. Las variables que han permitido caracterizar ambos procesos han sido la finalización de la tarea (para usuarios con limitación motora) y el tiempo empleado, el número de fijaciones y el HRV. Sin embargo, se han encontrado problemas para la caracterización de ambos procesos con las nuevas variables propuestas. Estos problemas se han debido a limitaciones en la normalización de las señales fisiológicas y al efecto de la curva de Yerkes del nivel de intensidad óptimo; y a la poca variación de las variables seleccionadas del seguimiento de la mirada con la evolución a lo largo de las sesiones y repeticiones.

En sexto lugar, a partir de variables de los distintos niveles, se ha planteado un modelo de valoración de usabilidad y valoración general de la web que varía en función del perfil de usuario. En la valoración de la usabilidad, ambos perfiles le dan importancia a la componente estética que se ve reflejada en el HRV. Sin embargo, el número de fijaciones y el tiempo empleado son las

variables más correlacionadas con el resto de componentes principales (fácil de encontrar, simplicidad y orden, y necesidad de aprender) para los sujetos control; mientras que las variables fisiológicas de conductividad de la piel y EMG facial, y las longitud de los sacádicos son las más correlacionadas con el resto de componentes para los usuarios con limitación motora.

En séptimo lugar, se han encontrado diversos problemas o limitaciones asociados a la interacción entre aspectos estéticos y de usabilidad, normalización del estado basal de las señales fisiológicas o la baja frecuencia de muestreo para analizar en mayor detalle la trayectoria visual.

Por último, y a modo de conclusión, es necesario validar las actuales recomendaciones de usabilidad mediante la participación de usuarios y tener en cuenta las características y/o habilidades específicas de cada grupo poblacional. Además, el uso de variables innovadoras, extraídas a partir del análisis de la respuesta fisiológica y la mirada, permite complementar y mejorar la información aportada mediante cuestionarios, la tasa de finalización de la tarea o el tiempo para ello.

Resum

Les persones grans i persones amb discapacitat es poden beneficiar dels serveis de les Tecnologies de la Informació i la Comunicació (TIC) per potenciar la seua autonomia personal. No obstant, la manca d'adaptació dels serveis TIC a les seues necessitats, capacitats i habilitats ha provocat l'efecte contrari, l'exclusió de la Societat de la Informació.

Durant els últims anys s'han realitzat considerables esforços per millorar l'Accessibilitat d'aquests serveis, especialment els llocs web, per garantir l'accés a tots els usuaris amb independència de les seves capacitats. El problema és que garantir el seu accés no assegura que la interacció siga senzilla, intuïtiva i satisfactòria, sinó que és necessari millorar la usabilitat web. Encara que és difícil de definir, la usabilitat comporta diversos conceptes com efectivitat, eficiència, satisfacció i aprenentatge.

En l'actualitat existeixen diverses guies amb pautes i recomanacions d'usabilitat proporcionades per experts. No obstant això, en molts casos, aquestes recomanacions no han estat validades mitjançant usuaris. A més, en els casos que han participat usuaris, gairebé sempre es limita a l'ús de metodologies subjectives i / o qualitatives com qüestionaris o variables bàsiques com la mesura de temps i errors, les quals no són les més adequades, especialment quan els usuaris són persones grans o persones amb discapacitat.

En aquesta Tesi es proposa l'ús de tecnologies innovadores, com l'anàlisi de la resposta fisiològica i el seguiment de la mirada, per extreure informació quantitativa i de detall en temps real durant la interacció dels usuaris amb la web. Mitjançant l'ús d'aquestes tècniques s'han analitzat les 3 hipòtesis de partida: (1) les recomanacions d'expert necessiten ser validades per usuaris, (2) dites recomanacions depenen del perfil d'usuari, i (3) les noves variables proposades permeten detectar millor l'efecte de les recomanacions que les variables tradicionals.

Per alçar aquest objectiu, s'ha plantejat un pla de treball en 4 grans fases, inclosa una revisió de l'estat de l'art (fase 1) en què s'han recopilat un ampli conjunt de recomanacions d'usabilitat i de variables d'avaluació.

En la fase 2, s'han escollit 7 de les recomanacions més implantades en llocs web on l'accessibilitat és d'obligat compliment: disposar de l'opció "Anar a l'inici"; disposar de l'opció "Anar dalt"; disposar de "Mapa web"; disposar de la funcionalitat "Assenyalar i fer clic"; no utilitzar "Imatge de fons"; disposar de la funcionalitat "Ruta de navegació" ("breadcrumb"); i utilitzar un menú adequat. A més, A més, s'han analitzat la relació d'aquestes recomanacions amb la tipologia de web i el nivell d'accessibilitat.

En la fase 3, s'han desenvolupat 17 estils CSS (Cascade Style Sheets) sobre un mateix contingut web per disposar d'un disseny controlat de la presència / absència de les diferents recomanacions. A continuació, s'ha posat a punt un protocol i un conjunt de variables (algoritmes de pre-processat, normalitzacions, selecció de variables, etc.) per avaluar la resposta fisiològica i el seguiment de la mirada, que ha estat refinat mitjançant la realització d'un estudi pilot amb 8 usuaris. A més, s'ha realitzat un disseny d'experiments per tenir controlat i equilibrat l'assaig en què han participat 10 usuaris control i 10 usuaris amb limitació motora, però que podien manejar un ratolí convencional, per poder avaluar l'efecte del perfil d'usuari. Cada usuari ha assistit a 3 sessions i ha realitzat en cadascuna d'elles 3 repeticions d'un conjunt de 9 tasques.

En la fase 4, s'han analitzat les dades obtingudes provinents de qüestionaris, mesura de temps, finalització de la tasca, resposta fisiològica (conductivitat de la pell: GSR i variabilitat del ritme cardíac: HRV, i electromiografia sobre el corrugador i el zigomàtic: EMGc i EMGz) i seguiment de la mirada (nombre de fixacions, nombre de fixacions per segon, amplitud dels sacàdics i ràtio de durada entre els sacàdics i les fixacions). Per a fer aquesta anàlisi, s'ha realitzat un model comú amb els següents factors: les 7 recomanacions d'usabilitat, la sessió, la repetició, la presència de limitació motora (perfil d'usuari) i la interacció d'aquesta amb la resta de factors; per poder avaluar les 3 hipòtesis de partida. A més, s'ha realitzat una anàlisi de correlacions entre les variables dels diferents nivells (nivell 1: 2 variables subjectives generals; nivell 2: 5 components principals del qüestionari; nivell 3: finalització de la tasca i temps emprat, i nivell 4: variables fisiològiques i del seguiment de la mirada) per definir un model d'usabilitat.

A partir d'aquest treball de recerca s'han extret vuit resultats principals:

En primer lloc, s'ha comprovat que les recomanacions triades no depenien del lloc web i la seua presència o absència no està correlacionada amb el nivell d'accessibilitat web en els 124 llocs web analitzats. Per tant, el compliment dels requisits d'accessibilitat no assegura que una web sigui fàcil d'utilitzar.

En segon lloc, s'ha comprovat que si bé la majoria de les recomanacions seleccionades milloren la usabilitat del conjunt dels usuaris, en algunes recomanacions com "Anar dalt" o "Assenyalar i fer clic", el seu efecte no estava del tot clar o fins i tot tenien un efecte negatiu. Aquests resultats posen de manifest la necessitat de validar les recomanacions d'expert mitjançant la participació d'usuaris, el que ha permès validar la hipòtesi 1.

En tercer lloc, s'ha comprovat que l'adequació d'aquestes recomanacions varien notablement en funció del perfil d'usuari. Si bé la majoria de recomanacions, a excepció de les esmentades anteriorment, milloren la usabilitat per als usuaris amb limitació motora; moltes de les recomanacions no tenen cap

efecte o fins i tot un efecte negatiu en els usuaris control. Aquest resultat dona suport a la necessitat d'adequar les diferents recomanacions en funció del perfil d'usuari, el que ha permès validar la hipòtesis 2.

En quart lloc, els resultats obtinguts mostren que les metodologies proposades, basades en la resposta fisiològica i el seguiment de la mirada, permeten detectar l'efecte de totes les recomanacions web i la seua interacció amb el perfil d'usuari amb el nivell de significació més alt ($p < 0,001$). Per tant, són molt més sensibles que els qüestionaris o la finalització de la tasca, i sensiblement millors als resultats obtinguts mitjançant l'anàlisi del temps emprat per finalitzar la tasca, el que ha permès validar la hipòtesi 3. A més, s'ha observat diferències notables entre el perfil d'usuari, ja que mentre que els usuaris amb limitació motora veuen alterada la resposta fisiològica i la trajectòria visual en funció de la presència de les diferents recomanacions, les principals variacions en els usuaris control es deuen al temps emprat en finalitzar la tasca. El Disseny Universal és una bona aproximació per facilitar la interacció al major nombre de persones possible, però és necessari personalitzar, quan sigui possible, les característiques del disseny a les necessitats específiques de cada grup de població.

En cinquè lloc, s'ha caracteritzat els processos d'adaptació i aprenentatge al llarg de les repeticions i sessions. Les variables que han permès caracteritzar els dos processos han estat la finalització de la tasca (per a usuaris amb limitació motora) i el temps emprat, el nombre de fixacions i el HRV. No obstant, s'han trobat problemes per a la caracterització d'ambdós processos amb les noves variables proposades. Aquests problemes es deuen a limitacions en la normalització dels senyals fisiològics i a l'efecte de la corba de Yerkes del nivell d'intensitat òptim; i a la poca variació de les variables seleccionades del seguiment de la mirada amb l'evolució al llarg de les sessions i repeticions.

En sisè lloc, a partir de les variables dels diferents nivells, s'ha plantejat un model de valoració d'usabilitat i valoració general del web que varia en funció del perfil d'usuari. En la valoració de la usabilitat, els dos perfils li donen importància a la component estètica que es veu reflectida en el HRV. No obstant, el nombre de fixacions i el temps emprat són les variables més correlacionades amb la resta de components principals (fàcil de trobar, simplicitat i ordre, i necessitat d'aprendre) per als subjectes control; mentre que les variables fisiològiques de conductivitat de la pell i EMG facial, i la longitud dels sacàdics són les més correlacionades amb la resta de components per als usuaris amb limitació motora.

En setè lloc, s'han trobat diversos problemes o limitacions associats a la interacció entre aspectes estètics i d'usabilitat, normalització de l'estat basal

dels senyals fisiològics o la baixa freqüència de mostreig per analitzar en més detall la trajectòria visual.

Finalment, i a manera de conclusió, cal validar les actuals recomanacions d'usabilitat mitjançant la participació d'usuaris i tenir en compte les característiques i / o habilitats específiques de cada grup poblacional. A més, l'ús de variables innovadores, extretes a partir de l'anàlisi de la resposta fisiològica i la mirada, permet complementar i millorar la informació aportada mitjançant qüestionaris, la taxa de finalització de la tasca o el temps emprat.

Abstract

The senior citizens and people with disability can benefit from the services of Information and Communication Technologies (ICT) to enhance their personal autonomy. However, the lack of adaptation of ICT services to their needs, abilities and skills has caused the opposite effect: their exclusion of the Information Society.

In recent years, there have been considerable efforts to improve the accessibility of ICT services, especially websites, to ensure access for all users regardless of their abilities. The problem is that ensuring the access does not guarantee a simple, intuitive and satisfactory interaction. To achieve this, it is necessary to improve website usability. Although it is difficult to define, usability comprises different concepts such as effectiveness, efficiency, satisfaction and learning.

There are several usability recommendation guidelines provided by experts. However, in many cases, these recommendations have not been validated by users. Furthermore, the ones that have been underpinned by user testing were almost always limited to the use of subjective and / or qualitative methods, such as questionnaires, or basic quantitative metrics, such as time and errors, which are not optimal, especially when dealing with seniors or people with disability as user profiles.

This thesis proposes the use of innovative metrics and methodologies, as the analysis of the physiological response and eye tracking, to extract quantitative and detailed information in real time during user interaction with the web. Leaning on these methodologies, three hypotheses have been assessed: (1) expert recommendations should be validated by users, (2) the validity of the recommendations depends on the user profile, and (3) the new metrics proposed allow detecting the impact of the recommendations better than traditional variables.

To do this, a work plan in four phases was defined: bibliographic search, screening, user testing and data analysis.

Phase 1 consisted of a review of the state of the art, including the gathering of a comprehensive set of usability metrics, recommendations and validation methods.

In Phase 2, seven of the most common usability recommendations for websites (124 websites were analysed) where accessibility is mandatory were selected: "Go Home" option; "Go top" option; "Web Map"; "Hoover and Click" functionality; not using "Background image"; "Breadcrumbs"; and the use a

proper menu. Moreover, its dependence on the type of website and its level of accessibility was analyzed.

In Phase 3, 17 Cascade Style Sheets were developed to be applied on the same web content to control the presence / absence of usability recommendations. Then, the protocol and the variables (pre-processing algorithms, normalization, selection of variables, etc.) were set up to assess the physiological response and eye tracking, which was refined by performing a pilot study with eight users. In addition, a design of experiments was conducted to control and balance the test, which involved 10 control users and 10 users with motor impairments (able to use a conventional mouse) to evaluate the effect of the user profile. Each user attended three sessions, including three repetitions of a set of nine tasks in each session.

In Phase 4, data gathered from the user testing was analysed. Data considered in the analyses included subjective questionnaire answers, time spent in tasks, task performance, physiological response and eye tracking. Physiological response was measured using skin conductance (GSR), heart rate variability (HRV), and electromyography on the corrugator (EMG_c) and on the zygomatic (EMG_z). Eye tracking variables considered were the number of fixations, the number of fixations per second, saccadic amplitude and duration ratio between saccades and fixations. To evaluate the three hypotheses, a common model was defined with the following factors: seven usability recommendations, session, repetition, user profile (presence of motor impairment) and its interaction with the other factors. To define the usability model, an analysis of correlations between variables of different levels was performed (Level 1: two general subjective variables; Level 2: five principal components of the questionnaire; Level 3: task performance and spent time, and Level 4: physiological and eye tracking variables).

Based on this research work, eight findings were drawn:

The first finding was that the presence /absence of most of usability recommendations did depend neither on the website type nor on level of web accessibility of the 124 analyzed websites. Therefore, accomplishment of accessibility requirements does not ensure that the website was easy to use.

The second finding was that while most of the selected recommendations improve usability of all users, the effect of some recommendations, such as "Go Top" or "Hoover and Click", was unclear or even had a negative effect. This result highlights the need to confirm the expert recommendations by user testing, which validates hypothesis 1.

The third finding was that the usefulness of the analysed recommendations varies considerably depending on the user profile. While most recommendations, except for those mentioned above, improve usability for users with motor

disorders; many of the recommendations have no effect or a negative effect on control users. This result supports the need to adapt the recommendations to the user profile, which validates hypothesis 2.

The fourth finding was that the new proposed methodologies, based on physiological response and eye tracking, detect the effect of all usability recommendations and its interaction with the user profile, reaching the highest significance level ($p < 0.001$). Therefore, these variables are more sensitive than spent time and significantly better than questionnaires or task performance, which validates the hypothesis 3. Moreover, significant differences were found depending on the user profile because, while physiological response and visual path of users with motor disorders change depending on the presence of the recommendations, the main changes in control users are due to the spent time to complete the task. Universal design is a good approach to enhance interaction for the greatest number of persons, but it is necessary to personalize, when it was possible, the design characteristics to the specific needs of each population group.

The fifth finding was the characterization of adaptation and learning processes along the repetitions and sessions have been assessed. The variables that allow to characterize both processes are task performance (for users with motor limitations), spent time, the number of fixations and HRV. However, some problems appeared in most of the new proposed variables. These problems were caused by the limitations in the normalization of physiological signals and the effect of Yerkes curve, which defines the optimal intensity level; and the lack of variations of eye tracking variables along the sessions and repetitions.

The sixth finding was the proposed usability model itself, which changes depending on the user profile based on the variables of the different levels. In relation to global usability assessment, the aesthetic component is important for both profiles and is related to HRV. However, while the number of fixations and the spent time are the most correlated variables with the subjective principal components (“easy to find”, “simplicity and order” and “need to learn”) for control subjects; the skin conductivity, facial EMG and saccadic amplitude are the most correlated with the subjective principal components for users with motor disorders.

The seventh finding was the identification of several problems and limitations to the proposed usability model, which are related to the interaction between aesthetics and usability, the normalization of basal state of physiological signals and the low sampling frequency to analyze the saccades trajectory.

Finally, as a conclusion, it is necessary to validate the current usability recommendations leaning on user participation and taking into account the char-

acteristics and / or specific skills of each population group. Furthermore, the use of innovative metrics, such as the analysis of the physiological response and eye tracking, can complement and improve the information provided through questionnaires, task performance or spent time.

Índice general

1. Introducción	27
2. Estado del arte	31
2.1. Interacción entre usuarios y productos	32
2.1.1. Personas mayores y personas con discapacidad	32
2.1.1.1. Personas con discapacidad	32
2.1.1.2. Personas mayores	37
2.1.2. Productos y servicios para la realización de las AVD . .	39
2.1.2.1. TIC	40
2.2. Accesibilidad	42
2.3. Usabilidad	44
2.3.1. Definición de la usabilidad	44
2.3.2. Aproximaciones para la evaluación de la usabilidad . . .	47
2.4. Análisis de la respuesta emocional	49
2.4.1. Definición y teoría de las emociones	49
2.4.1.1. Naturaleza de las emociones	50
2.4.1.2. ¿Proceso consciente o inconsciente?	51
2.4.1.3. Influencia en los procesos cognitivos	51
2.4.2. Clasificación de las emociones	54
2.4.2.1. Emociones, estado, modo y comportamiento . .	54
2.4.2.2. Aproximación categórica	54
2.4.2.3. Aproximación dimensional	55
2.4.3. Aproximaciones para estudiar la respuesta emocional . .	56
2.4.3.1. Evaluación mediante cuestionarios	56
2.4.3.2. Análisis del comportamiento	56
2.4.3.3. Análisis de la respuesta fisiológica	57
2.4.4. Señales fisiológicas para evaluar la respuesta emocional .	57
2.4.4.1. Potenciales evocados	57

2.4.4.2.	Electromiografía facial	58
2.4.4.3.	Variación del ritmo cardíaco	59
2.4.4.4.	Conductividad de la piel	61
2.4.4.5.	Combinación EMG facial, GSR y HRV	61
2.4.5.	Señales fisiológicas para evaluar HMI	62
2.5.	Análisis de la trayectoria visual	64
2.5.1.	La mirada	64
2.5.2.	Modos de inspección visual	65
2.5.3.	Relación entre la mirada y el proceso mental	66
2.5.4.	Trayectorias y estrategias de inspección visual	67
2.5.5.	Tecnologías para el registro de la mirada	68
2.5.6.	Análisis cualitativo del seguimiento de la mirada	69
2.5.7.	Variables cuantitativas del seguimiento de la mirada	71
2.6.	Conclusiones del estado del arte	75
3.	Hipótesis y objetivos	79
3.1.	Planteamiento de hipótesis	79
3.2.	Objetivos	79
3.3.	Plan de Trabajo	81
4.	Material y métodos	83
4.1.	Selección recomendaciones usabilidad	83
4.1.1.	Selección de los sitios web a revisar	84
4.1.2.	Selección de las recomendaciones de usabilidad web	84
4.2.	Validación recomendaciones y variables	86
4.2.1.	Definición y desarrollo de las páginas web	87
4.2.1.1.	Diseño ortogonal	88
4.2.1.2.	Páginas web desarrolladas	88
4.2.2.	Selección de perfiles de usuario	92
4.2.3.	Diseño de experimentos	93
4.2.4.	Protocolo de ensayo	93
4.2.5.	Equipamiento, procesado y variables de usabilidad	96
4.2.5.1.	Variables tradicionales	99
4.2.5.2.	Variables asociadas al seguimiento de la mirada	100
4.2.5.3.	Variables asociadas a la respuesta fisiológica	102
4.2.6.	Realización estudio piloto	107
4.2.7.	Análisis de datos	108

5. Resultados	117
5.1. Selección recomendaciones	118
5.1.1. Frecuencia de aparición	118
5.1.2. Relación con tipología de web	119
5.1.3. Relación con el nivel de accesibilidad	122
5.1.4. Selección de las recomendaciones de usabilidad	125
5.2. Resultados del estudio piloto	126
5.3. Descripción de la muestra de usuarios	127
5.4. Influencia en las variables de usabilidad	128
5.4.1. Variables subjetivas globales: Nivel 1	129
5.4.1.1. Resumen resultados	132
5.4.2. Variables subjetivas específicas: Nivel 2	134
5.4.2.1. CP1: Diseño y estética adecuada	139
5.4.2.2. CP2: Orientación y layout claro	141
5.4.2.3. CP3: Fácil de encontrar y sin errores	141
5.4.2.4. CP4: Simplicidad y lectura fácil	141
5.4.2.5. CP5: Necesidad de aprender	142
5.4.2.6. Resumen resultados	142
5.4.3. Variables objetivas tradicionales: Nivel 3	142
5.4.3.1. Finalización de la tarea	144
5.4.3.2. Duración de la tarea	147
5.4.3.3. Resumen resultados	150
5.4.4. Variables fisiológicas: Nivel 4	152
5.4.4.1. Conductividad de la piel: GSR	154
5.4.4.2. Variabilidad del ritmo cardíaco: HRV	157
5.4.4.3. Electromiografía zigomático mayor: EMGz	160
5.4.4.4. Electromiografía corrugador superciliar: EMGc	163
5.4.4.5. Resumen resultados	164
5.4.5. Variables de la estrategia visual: Nivel 4	166
5.4.5.1. Número de fijaciones	168
5.4.5.2. Número de fijaciones por segundo	173
5.4.5.3. Longitud de los sacádicos	175
5.4.5.4. Ratio de duración entre sacádicos y fijaciones	178
5.4.5.5. Resumen resultados	180
5.5. Validez de las recomendaciones de usabilidad	181
5.6. Influencia del perfil de usuario	181
5.7. Comparativa sensibilidad de las variables	183
5.8. Caracterización del proceso de aprendizaje	188
5.9. Extracción de un modelo de usabilidad	189
5.9.1. Relaciones entre variables del primer y segundo nivel	192

5.9.2.	Relaciones entre las variables del primer y tercer nivel .	194
5.9.3.	Relaciones entre las variables del primer y cuarto nivel .	197
5.9.4.	Relaciones en las variables del segundo y tercer nivel . .	197
5.9.5.	Relaciones entre las variables del segundo y cuarto nivel	201
5.9.6.	Relaciones entre las variables del tercer y cuarto nivel .	203
5.9.7.	Aproximación mediante un modelo simplificado	203
6.	Discusión	211
6.1.	Validez de las recomendaciones de usabilidad	212
6.2.	Influencia del perfil de usuario	218
6.3.	Comparativa de las distintas variables de usabilidad	223
6.4.	Proceso de adaptación y aprendizaje	227
6.5.	Valoración general, usabilidad e interacciones	231
6.6.	Limitaciones del estudio y mejoras	235
7.	Conclusiones	237
7.1.	Conclusiones	237
7.2.	Publicaciones	239
7.3.	Trabajo futuro	241
	Bibliografía	241
	A. Páginas web analizadas	265
	B. Ejemplos recomendaciones	269
	C. Cuestionario de usabilidad	275
	D. Ejemplo programación mediante estilos CSS	277
	E. Distribución de los estilos web entre los usuarios	285
	F. Consentimiento informado	289
	G. Aplicación de análisis automático	291

Índice de figuras

2.1. Prevalencia europea de la discapacidad e influencia en las AVD	34
2.2. Diagrama de factores de la situación de dependencia	36
2.3. Evolución de las capacidades con la edad	37
2.4. Diseño símbolos y elementos activos	45
2.5. Teorías de las emociones	52
2.6. Modelo tridimensional de los tipos de emociones	55
2.7. Sistemas de registro de EEG y potenciales evocados	58
2.8. EMG facial en función del nivel de valencia	59
2.9. HRV en función del nivel de valencia	60
2.10. Forma de la componente fásica de la GSR	62
2.11. Modelo de 2 dimensiones, activación y valencia	63
2.12. Componentes de la mirada.	65
2.13. Ejemplos representación visual del seguimiento de la mirada . .	70
2.14. Variables scanpath	74
3.1. Descripción del plan de trabajo	82
4.1. Distribución de los 126 sitios web	85
4.2. Mapa web de las web desarrolladas.	90
4.3. Ejemplos de las web con distintos estilos CSS	91
4.4. Enfoques valoración usabilidad	97
4.5. Sistema de registro de la mirada Tobii T60	101
4.6. Colocación electrodos señales fisiológicas	104
4.7. Procesado de las señales fisiológicas.	105
4.8. Diagrama con los ejes de Poincare	107
4.9. Estructura del modelo estadístico de 4 niveles	110
5.1. Modelo de 4 niveles: Selección recomendaciones	118

5.2. Modelo de 4 niveles: Efecto en variables subjetivas generales . .	130
5.3. Valoración global y de facilidad de uso según menú	133
5.4. Modelo de 4 niveles: Efecto en variables subjetivas específicas .	135
5.5. CP1, CP4 y CP5 según menú y perfil de usuario	140
5.6. Modelo de 4 niveles: Efecto en variables tradicionales	143
5.7. Descriptivo finalización tarea	144
5.8. Finalización tarea según sesión y repetición	147
5.9. Duración tarea según menú, sesión, repetición y perfil de usuario	149
5.10. Modelo de 4 niveles: Variables fisiológicas	153
5.11. GSR y HRV según menú, sesión, repetición y perfil de usuario .	158
5.12. EMG facial según menú, sesión, repetición y perfil de usuario .	161
5.13. Modelo de 4 niveles: Variables de la estrategia visual	167
5.14. Número de fijaciones según menú, sesión y repetición	170
5.15. Longitud de los sacádicos y ratio duración según menú y sesión	176
5.16. Nivel de sensibilidad de las variables de cada nivel	187
5.17. Proceso adaptación y aprendizaje para las variables tradicionales	189
5.18. Proceso adaptación y aprendizaje para las variables fisiológicas	190
5.19. Proceso adaptación y aprendizaje para las variables de la mirada	191
5.20. Codificación de las correlaciones	192
5.21. Diagrama de correlaciones entre el nivel 1 y el nivel 2	193
5.22. Diagrama de correlaciones entre el nivel 1 y el nivel 3	196
5.23. Diagrama de correlaciones entre el nivel 1 y el nivel 4	198
5.24. Diagrama de correlaciones entre el nivel 2 y el nivel 3	200
5.25. Diagrama de correlaciones entre el nivel 2 y el nivel 3	204
5.26. Diagrama de correlaciones entre el nivel 3 y el nivel 4	206
5.27. Modelo simplificado de la valoración de usabilidad	208
5.28. Modelo simplificado de la valoración global de la web	209
6.1. Adaptación de la pirámide de Jordan	232
B.1. Ejemplos de tipos de menú	271
B.2. Ejemplos de recomendaciones de navegación	272
B.3. Ejemplos de recomendaciones de visualización	273
B.4. Ejemplos de recomendaciones de interacción	274
G.1. Aplicación análisis de la respuesta fisiológica y la mirada -I- . .	292
G.2. Aplicación análisis de la respuesta fisiológica y la mirada -II- .	293

Índice de tablas

2.1. Clasificación de discapacidades	33
2.2. Prevalencia de las capacidades afectas en la población mayor	38
2.3. Mejoras accesibilidad en función del tipo de discapacidad.	41
2.4. Ejemplos recomendaciones de usabilidad	46
2.5. Principales variables extraídas a partir de las fijaciones.	72
2.6. Principales variables extraídas a partir de los sacádicos.	73
2.7. Principales variables extraídas a partir del scanpath.	73
4.1. Distribución estilos web y codificación tipos de menús	89
4.2. Descripción de las tareas y objetivos	95
4.3. Ejemplo tabla de recuento	114
5.1. Frecuencia de aparición de las recomendaciones	120
5.2. Presencia de recomendaciones por tipología de web	121
5.3. V de Cramer de los análisis de contingencia	122
5.4. Tablas contingencia de declaración y nivel de accesibilidad	123
5.5. Tablas contingencia de recomendaciones y nivel de accesibilidad	124
5.6. Conocimiento y uso de las recomendaciones	128
5.7. Descriptivos nivel 1: variables subjetivas generales	130
5.8. Factores significativos para variables subjetivas generales	131
5.9. Post-hoc de la valoración global según menú	132
5.10. Post-hoc valoración usabilidad según menú	134
5.11. Correlación entre preguntas y componentes principales	136
5.12. Descriptivos nivel 2: variables subjetivas específicas	137
5.13. Factores significativos para variables subjetivas específicas	138
5.14. Post-hoc de CP1 y CP4 según menú y perfil de usuario	139
5.15. Descriptivos nivel 3: variables objetivas tradicionales	143
5.16. Factores significativos para variables objetivas tradicionales	145

5.17. Tablas de contingencia de la finalización de la tarea	146
5.18. Post-hoc de duración de la tarea según menú, sesión y repetición	148
5.19. Post-hoc de duración de la tarea según perfil de usuario	151
5.20. Descriptivos nivel 4: variables fisiológicas	153
5.21. Factores significativos para variables fisiológicas	155
5.22. Post-hoc de GSR según menú, sesión y perfil de usuario	156
5.23. Post-hoc de HRV según menú, sesión, repetición y usuario	159
5.24. Post-hoc de EMGz según menú, sesión, repetición y usuario	162
5.25. Post-hoc de EMGc según menú y repetición	164
5.26. Post-hoc de EMGc según perfil de usuario	165
5.27. Descriptivos nivel 4: variables seguimiento de la mirada	168
5.28. Factores significativos para variables de la mirada	169
5.29. Post-hoc de fijaciones según menú, sesión, repetición y usuario	171
5.30. Post-hoc de fijaciones según perfil de usuario	172
5.31. Post-hoc de fijaciones por segundo según menú y usuario	174
5.32. Post-hoc de longitud sacádicos según sesión, menú y usuario	177
5.33. Post-hoc de ratio de duración según menú y perfil de usuario	179
5.34. Resumen contribución a la usabilidad de las recomendaciones	182
5.35. Resumen contribución recomendaciones por perfil de usuario	184
5.36. Resumen contribución menús por perfil de usuario	185
5.37. Comparativa significación de los 4 niveles	186
5.38. Correlaciones entre el nivel 1 y el nivel 2	192
5.39. Correlaciones entre el nivel 1 y el nivel 3	195
5.40. Correlaciones entre el nivel 1 y el nivel 4	199
5.41. Correlaciones entre el nivel 2 y el nivel 3	201
5.42. Correlaciones entre el nivel 2 y el nivel 4	205
5.43. Correlaciones entre el nivel 3 y el nivel 4	207
A.1. Páginas web de Ayuntamientos	265
A.2. Páginas web de Comunidades Autónomas	266
A.3. Páginas web de viajes y transporte	266
A.4. Páginas web de la Administración del Estado	266
A.5. Páginas web de Universidades	267
C.1. Cuestionario evaluación de la usabilidad	276

Capítulo 1

Introducción

La World Wide Web facilita el acceso a múltiples recursos y servicios como información, gestión del dinero a través de las web de los bancos, gestiones con la Administración, compra de bienes o acceso al ocio. De ahí el gran potencial que tiene para facilitar la realización de actividades de la vida diaria a grupos poblaciones que pueden tener limitada su capacidad funcional como las personas mayores y personas con discapacidad.

Sin embargo, durante su desarrollo se han detectado problemas de falta de adaptación de los requisitos de la web a las capacidades y necesidades de ambos grupos, dificultando su incorporación a la Sociedad de la Información y la Comunicación. Esta brecha digital se comenzó a reducir gracias a los trabajos para mejorar la accesibilidad, como el conjunto de pautas desarrollado por la Iniciativa de Accesibilidad Web (WAI) [1], permitiendo el acceso a la web con independencia de las capacidades de los usuarios.

Aunque la accesibilidad digital es un paso necesario de cara a la eliminación de las barreras digitales actuales, su cumplimiento no aseguraría la usabilidad de las páginas web [2]. La usabilidad no se limita al acceso sino que busca objetivos como la eficacia, eficiencia y satisfacción, y depende del usuario y del contexto de uso.

La mejora de la usabilidad y la accesibilidad de las aplicaciones informáticas y de la información contenida en la red incrementa las posibilidades de incorporación y permanencia en la sociedad de la información de los ciudadanos en general, y en particular, de las personas con discapacidad y personas mayores. Estos soportes contribuyen positivamente a su autonomía personal y vida independiente, su integración social y por ende, su calidad de vida, además de evitar su exclusión digital.

Si bien se han hecho grandes esfuerzos en mejorar la usabilidad, gran parte de las recomendaciones de usabilidad proporcionadas por expertos no se han contrastado mediante la participación de usuarios. Además, en los casos en los que se han incluido a usuarios en la validación, ésta se ha limitado a valoraciones subjetivas o variables tradicionales como la medida de tiempos y errores.

En este contexto, se plantea la actual Tesis, cuyo objetivo es **poner a punto un conjunto de metodologías que permita analizar de forma objetiva la respuesta emocional y el comportamiento del usuario en la interacción con las páginas web**, así como utilizarlas para **valorar la utilidad de las actuales recomendaciones de usabilidad en función de las capacidades de los usuarios**.

Esta Tesis continúa el trabajo realizado en la Tesina de Investigación “Valoración de pavimentos cerámicos mediante el análisis de la respuesta fisiológica” [3], complementándola con el seguimiento de la mirada y adaptándola para la valoración de la interacción hombre-máquina.

Las técnicas y métodos desarrollados en la presente Tesis Doctoral han sido el punto de partida del proyecto MEUA [4], perteneciente a la convocatoria nacional AVANZA, cuyo objetivo era mejorar la usabilidad web y poner a punto un conjunto de metodologías y variables para valorar la usabilidad de forma objetiva y cuantitativa.

La metodología, que se ha puesto a punto y validado en esta tesis, **se ha aplicado en diversos proyectos** nacionales e internacionales, tanto para evaluar la usabilidad como para la evaluación de percepciones y aspectos estéticos, entre los que cabe destacar los siguientes proyectos:

- Seniorplay [5], proyecto en el ámbito de la Comunidad Valenciana que utilizó la metodología de análisis de la respuesta fisiológica para evaluar la satisfacción y la usabilidad durante la interacción de las personas mayores con juegos de entrenamiento físico y cognitivo tanto para Wii como para Kinect.
- ComunicaFP [6], proyecto nacional que utilizó la metodología de análisis de la respuesta fisiológica y el seguimiento de la mirada para evaluar la respuesta de la población a la publicidad enfocada a mejorar la percepción de los cursos de formación profesional.
- CONEMO [7], proyecto europeo que utilizó la metodología de análisis de la respuesta emocional y el seguimiento de la mirada para evaluar la percepción de calidad de distintos productos como coches o relojes.

- TREMOR [8], proyecto europeo que utilizó la metodología de análisis de la respuesta fisiológica para evaluar la percepción de disconfort de usuarios con temblor a la estimulación eléctrica funcional.
- BANKELDER [9], proyecto europeo que utilizó las metodologías de análisis de la respuesta fisiológica y seguimiento de la mirada, combinada con el análisis de movimientos, para evaluar la usabilidad de distintos interfaces bancarios (TV, móvil, web y cajero) orientados a personas mayores.
- ABC [10], proyecto europeo que adaptó las metodologías de análisis de la respuesta fisiológica para mejorar el conocimiento sobre la expresión y detección de emociones en niños con parálisis cerebral, así como la adaptación del interfaz al estado emocional del usuario.
- Diversos proyectos en el ámbito de la Comunidad Valenciana en los que se ha refinado la metodología y se automatizado para permitir su aplicación comercial y ofrecer servicios a clientes del IBV.
- Proyectos con empresas para el uso de señales fisiológicas para detectar el estrés, mejorar la actividad deportiva y la detección precoz de patologías (Confidencial).

A partir de los resultados obtenidos, se han realizado diversas publicaciones en congresos y revistas, así como la participación en capítulos de libros, que se muestran en la sección 7.2.

Capítulo 2

Estado del arte

En este capítulo se revisa la bibliografía mas relevante en el ámbito de la evaluación y mejora de la accesibilidad y usabilidad web para personas con limitaciones funcionales.

En primer lugar, se ha revisado la información relativa a cómo afectan las limitaciones funcionales de los usuarios a la interacción con los productos y servicios, con especial énfasis en uno de los servicios TIC más extendidos: las páginas web.

En segundo lugar, se ha revisado la importancia ya no solo del acceso a la web con independencia de las capacidades del usuario: accesibilidad; sino la necesidad de potenciar la facilidad de uso en la interacción con la web: usabilidad. La usabilidad es un concepto difícil de definir y de evaluar, por ello se ha realizado una revisión de las distintas metodologías para su evaluación. Se ha detectado la necesidad de incorporar nuevas metodologías que permitan evaluar de forma objetiva y sin interferencias, la interacción del usuario mediante el análisis de la respuesta emocional y del comportamiento, revisando las aproximaciones actuales.

En tercer lugar, se profundiza en el estudio de la respuesta emocional. Para ello, se parte desde el propio concepto de las emociones hasta las distintas aproximaciones para obtener la respuesta emocional del usuario, tanto a estímulos concretos como durante la interacción con interfaces TIC.

Por último, se revisan las técnicas para el análisis de la mirada, los sistemas que existen para ello y como a partir de la exploración visual se puede extraer información de utilidad sobre la interacción del usuario con interfaces TIC.

2.1. Interacción entre usuarios y productos

Un amplio conjunto de la población tiene **problemas en la realización de actividades rutinarias** debido a la reducción de sus capacidades. Se pueden diferenciar dos grandes grupos de personas con limitaciones funcionales, las personas con discapacidad y las personas mayores. En las siguientes subsecciones se detallan las características de ambos grupos, sus necesidades y limitaciones en la interacción con productos, servicios y entornos, con especial énfasis en las páginas web.

2.1.1. Personas mayores y personas con discapacidad

Las personas con discapacidad y las personas mayores son grupos muy heterogéneos, pero existen aspectos comunes que hacen posible su clasificación [11]. Esto permite mejorar el conocimiento sobre las capacidades y habilidades a tener en cuenta en la adecuación de los productos.

Existen diversas formas de **clasificación** en función del objetivo que se persiga. En el caso de adecuación de los productos para facilitar dichas actividades rutinarias, la Guía Datus [11] realizó una clasificación (tabla 2.1) basada en opiniones de experto, experiencia previa del Instituto de Biomecánica de Valencia (IBV), estadísticas del Instituto Nacional de estadística, la Clasificación Internacional de Discapacidades la OMS [12] y la Guía ISO/IEC 71 [13]

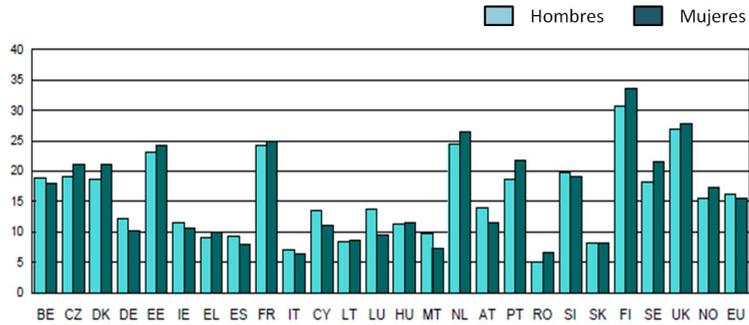
Además de la diferenciación en función de las capacidades o discapacidades, que ayuda a conocer posibles limitaciones o problemas durante la interacción con un producto, es importante tener en cuenta las **diferencias socio-demográficas**, presentes con independencia del perfil de población. Diferencias como la edad, género, nivel académico, situación laboral, entorno o situación económica pueden influir en la interacción del usuario con el producto [14, 15]. Por ejemplo, la combinación de varias de ellas como la edad, el género y el nivel formativo puede definir el nivel de conocimiento y uso de tecnologías, siendo necesario tenerlas en cuentas para un diseño adecuado.

2.1.1.1. Personas con discapacidad

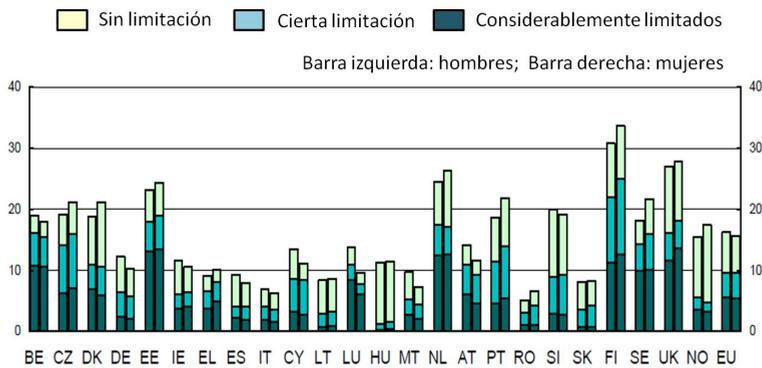
El 16 % de la población entre 16 y 64 años presentan algún nivel de discapacidad [16]. No obstante, este porcentaje varía entre el 6 % y 30 % en función del país (figura 2.1a), desde un 27 % en Finlandia hasta el 7 % y 9 % en países como Italia o España.

Discapacidad	
Física	Manipulación
	Destreza
	Movimiento
	Fuerza y resistencia
	Voz y habla
Cognitiva	Intelecto
	Lenguaje y comunicación.
	Lecto-escritura.
	Memoria.
	Atención.
Táctil	Diferenciación texturas.
	Falta de sensibilidad.
	Percepción de vibraciones.
Visual	Disminución agudeza visual.
	Campo de visión reducido.
	Disminución de la percepción de profundidad.
	Deslumbramiento.
	Visión nocturna reducida.
	Disminución de la percepción del contraste.
	Fotofobia.
	Ceguera total.
Auditiva	Deficiencia auditiva leve.
	Deficiencia auditiva moderada.
	Deficiencia auditiva severa.
	Deficiencia auditiva profunda.
	Cofosis, deficiencia auditiva total.

Tabla 2.1: Clasificación de discapacidades adaptada de la Guía DATUS [11].



(a) Prevalencia discapacidad



(b) Sin limitaciones en la realización de actividades

Figura 2.1: Prevalencia europea de la discapacidad y su influencia en la limitación de actividades de las actividades de la vida diaria. Elaboración propia, basada en [16].

El término de discapacidad significa ausencia o **limitación de la capacidad para realizar una actividad**. Para una determinada capacidad existe un amplio abanico poblacional que abarca desde atletas o virtuosos en un extremo hasta las personas con limitaciones funcionales más severas en el otro, estando el resto de población en un rango medio [17].

A pesar de la definición anterior, no existe un límite claro para considerar que una persona tiene discapacidad. Por ejemplo, si la comparación se realiza con los atletas, la mayoría de la población tendría una discapacidad. De hecho, no es necesario plantear situaciones tan extremas; en relación a la capacidad visual, una gran parte de la población tendría discapacidad debido a que precisa de lentes o lentillas, ya sea por problemas de miopía, hipermetropía, astigmatismo o presbicia.

La discapacidad varía ya no solo en función del individuo sino también en función del tipo y severidad de la deficiencia que le acompaña, la manera de compensar la limitación funcional, la tarea a realizar y las condiciones del entorno.

Por ello, es de utilidad distinguir diversos **conceptos relacionados con la discapacidad**, sus antecedentes y consecuencias. Inicialmente, la Organización Mundial de la Salud definió tres conceptos [17]:

- **Deficiencia:** Pérdida o anomalía de una estructura o función anatómica, fisiológica o psicológica, que se puede deber a un problema congénito, una enfermedad adquirida, un accidente o por el propio envejecimiento. Representa la exteriorización de un estado patológico y refleja alteraciones a nivel del órgano. Las deficiencias pueden ser auditivas, visuales, esqueléticas, intelectuales, etc.
- **Discapacidad:** Restricción o ausencia de la capacidad para realizar una actividad de la forma habitual, y que puede ser la consecuencia de una deficiencia. Por lo tanto, es una limitación funcional y refleja una alteración a nivel de la persona. La discapacidad puede afectar a la capacidad de hablar, escuchar, ver, moverse, etc.
- **Minusvalía:** Situación desventajosa social o personal para un individuo determinado, que puede ser consecuencia de la discapacidad, aunque no siempre una discapacidad provoca una minusvalía. La minusvalía se produce cuando una persona no puede, o ve limitado, el desempeño de un rol que es normal en función de su edad, género y otros factores culturales y sociales. Por tanto, este concepto se asocia a una situación de minusvalía de independencia física, de autosuficiencia económica, etc.

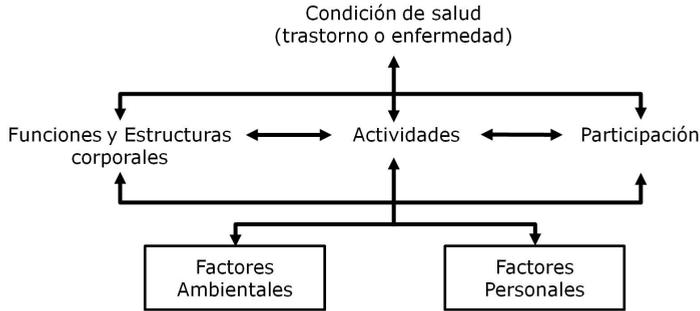


Figura 2.2: Diagrama con los factores determinantes en las situaciones de dependencia. Elaboración propia, basada en [19].

Por ejemplo, una lesión medular puede conducir a una deficiencia en la falta de control de los miembros inferiores, la discapacidad de no poder andar y la minusvalía asociada a los problemas de depender de una silla de ruedas como la dificultad de acceso al transporte público [17].

Esta distinción es importante, ya que si bien la adaptación de productos, servicios y entornos a las características del usuario no modifica la deficiencia del usuario, si disminuye el impacto de la discapacidad y la situación de minusvalía si su entorno es adecuado.

En la actualidad, el término de minusvalía ha sido sustituido por el término de **personas en situación de dependencia**: personas que sufren algún tipo de discapacidad que les limita el desarrollo de su vida diaria. Aunque la Comisión Europea ha constatado que no existe una definición compartida de la situación de dependencia en los países europeos [18], la CIF (Clasificación Internacional de Funcionalidades y Discapacidades) [19] plantea la situación de dependencia como una interacción multidireccional entre las personas y el contexto socio-ambiental (figura 2.2). Además, aporta una nomenclatura en positivo, hablando de capacidad en vez de discapacidad y de participación en vez de minusvalía.

En este contexto, toma más relevancia la afirmación anterior, ya que el acceso a productos adecuados permite la reducción de las situaciones de dependencia, contribuyendo a la autonomía personal de estos grupos de usuarios.

Además, como se ha dicho anteriormente, **la discapacidad no conlleva implícitamente una limitación en la realización de actividades**. De hecho, el 33% de las personas con discapacidad no se sienten limitados en la realización de actividades de la vida diaria. Este porcentaje también varía en

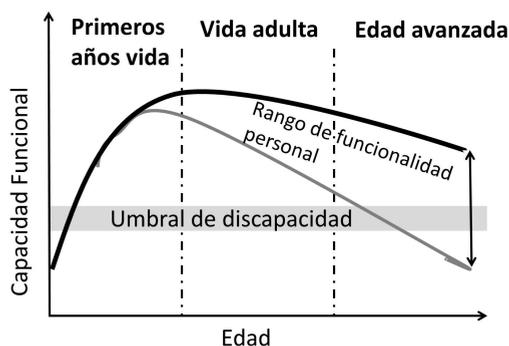


Figura 2.3: Evolución de las capacidades con la edad. Diferencias entre envejecimiento normal y patológico. Elaboración propia, basada en [22].

función de los países entre el 5 % y 50 % (figura 2.1b), aumentando en función del nivel de vida y por ende, del acceso a asistencia o productos de apoyo. Por ejemplo, el 50 % se alcanza en países como Bélgica mientras que Hungría no llega al 5 %, situándose España entre un 8 % y 10 %.

En cuanto al tipo de problemas, el 60 % están relacionados con la espalda o el cuello, el corazón y problemas circulatorios, las manos y los pies, problemas cognitivos y emocionales, y respiratorios. No obstante, el **42 % de las personas** con mayores limitaciones en la realización de actividades **tiene problemas asociados a la movilidad de extremidades**, espalda o cuello.

2.1.1.2. Personas mayores

La población de personas mayores ha aumentado del 10 % al 17 % entre 1960 y 2008, y según Eurostat, esta tendencia continuará hasta 2060, alcanzando el 30 % de la población Europea, lo que supondrá más de 150 millones de personas mayores [20, 21].

La población mayor es un grupo heterogéneo, desde personas sin ningún tipo de limitación hasta personas con severas discapacidades. No obstante, a medida que las personas envejecen, sus capacidades pueden cambiar. Asociado al ciclo vital se dan una serie de **cambios en las capacidades funcionales** más lentos o progresivos cuando hablamos de envejecimiento biológico y más rápidos, o incluso bruscos, cuando hablamos de envejecimiento patológico (figura 2.3).

Capacidades	Prevalencia
Auditiva	El 47 % tiene ciertos problemas de audición y el 20 % tiene problemas severos, dificultando la audición de tonos agudos o de bajo volumen.
Vista	El 16 % tiene problemas considerables de visión, dificultando la lectura de textos con bajo contraste y/o insuficiente tamaño de letra.
Cognitiva	El 20 % tiene una limitación cognitiva media, así como problemas de memoria o comprensión, afectando a la interacción con menús complejos o recordar secuencias de números (p.e. contraseñas o números pin).
Motricidad fina	Gran parte de las personas mayores tienen problemas de motricidad fina que les dificultan el uso de un ratón o pulsar sobre un área pequeña debido al propio envejecimiento o a enfermedades como la artritis (50 %) o el temblor asociado por ejemplo al Parkinson (20 %).

Tabla 2.2: Prevalencia de las capacidades afectas en la población mayor [23].

La reducción de las capacidades funcionales incide con mayor o menor medida en la realización de tareas cotidianas, pudiendo llegar incluso a imposibilitar su realización de manera autónoma. Un diseño del entorno adecuado, el uso de productos de apoyo o tecnologías puede permitir que dichas tareas puedan seguir realizándose sin necesidad de la ayuda de una tercera persona.

En la tabla 2.2 se muestran las principales capacidades que se ven afectadas con la edad y que pueden dificultar la interacción con las TIC. Como se observa, una de las capacidades más afectadas y que tienen una mayor influencia en la interacción con las nuevas tecnologías es la **motricidad fina** que permite desde coser un botón hasta manejar un ratón de ordenador.

Ambos grupos de población, personas mayores y personas con discapacidad, presentan limitaciones que les afecta en su día a día, reduciendo su autonomía personal. Las **limitaciones físicas y las cognitivas son las de mayor prevalencia y también de mayor impacto** en las tareas del día a día. Sin embargo, estos colectivos podrían mejorar considerablemente su autonomía personal disponiendo de recursos adecuados a sus necesidades y capacidades.

2.1.2. Productos y servicios para la realización de las AVD

Las **Actividades de la Vida Diaria** (AVD) son el conjunto de acciones y conductas que una persona realiza todos los días, o con frecuencia casi cotidiana, para vivir de forma autónoma e integrada en su entorno y desarrollar su papel social. Las AVD se pueden **clasificar en dos niveles** [24]:

- **Básicas:** Actividades de auto-cuidado como la higiene personal (ej. lavarse los dientes, bañarse, etc.), vestirse, comer o desplazarse.
- **Instrumentales:** Actividades que no son básicas para el funcionamiento mínimo pero que permiten a los usuarios vivir de forma independiente. Algunos ejemplos son las tareas del hogar, gestión de la economía personal, comunicarse, comprar, utilizar el transporte público, etc. Además, durante los últimos años ha tomado especial importancia el uso de tecnologías como los teléfonos móviles o el acceso a servicios a través de Internet.

La realización satisfactoria de las AVD depende de disponer de recursos, ya sean productos, servicios o entornos, que se adecuen a las necesidades y capacidades de las personas. Además, en el caso de las poblaciones mencionadas anteriormente, los **productos de apoyo o las ayudas técnicas** tienen un papel clave.

Los productos de apoyo son cualquier producto (incluyendo dispositivos, equipos, instrumentos o software) fabricado especialmente o disponible en el mercado, utilizado por o para personas con discapacidad y destinado a: facilitar la participación; proteger, apoyar, entrenar, medir o sustituir funciones/estructuras corporales y actividades; o prevenir deficiencias, limitaciones en la actividad o restricciones en la participación.[25].

La norma ISO 9999 [25] define una clasificación en tres niveles que cubre desde ayudas para el cuidado personal (p.e. Alzas para el inodoro), movilidad personal (p.e. Bastones), la comunicación (p.e. Sistemas Braille) hasta ayudas para manipulación de dispositivos (p.e. Sistemas de control remoto) y el ocio (p.e. Programas informáticos para dibujar).

Existe una amplia abanico de productos de apoyo, desde productos de apoyo ampliamente aceptados por la población, como el uso de gafas graduadas, hasta productos para el público en general. Dentro de este último grupo, se encuentran los smartphones, tabletas, aplicaciones móviles o páginas web, que pueden facilitar la comunicación o el acceso a distintos servicios a través de las nuevas tecnologías.

A pesar de esta amplia oferta, con frecuencia las personas con discapacidad y personas mayores no pueden utilizar los **productos** desarrollados para el público en general, o al menos no de forma satisfactoria y confortable, ya que **no se ajustan a sus necesidades y capacidades** [15, 26].

Este problema se agrava en los casos de productos y servicios relacionados con las TIC, lo que provoca la infrautilización de los productos o el abandono en su uso, limitando la posibilidad de realizar las AVD y afectando a la calidad de vida de estos grupos poblacionales.

2.1.2.1. Tecnologías de la información y la comunicación: TIC

Las TIC giran entorno a tres medios básicos: la informática, la microelectrónica y las telecomunicaciones; pero no lo hacen forma aislada sino interconexiónadas y de forma interactiva, permitiendo nuevas vías de comunicación [27].

Las **características** más representativas de las TIC, según una revisión realizada por Cabero [27], son: inmaterialidad, interactividad, interconexión, elevados parámetros de calidad de imagen y sonido, digitalización, mayor influencia sobre los procesos que sobre los productos, penetración en todos los sectores (culturales, económicos, sociales, etc.), innovación, tendencia hacia la automatización y diversidad.

Dentro de las TIC existen diversas herramientas para comunicarse como el correo electrónico o la videoconferencia, pero sin duda la **World Wide Web** es la que permite el acceso, obtención y utilización no solo de información, sino de una amplia variedad de servicios relacionados con la gestión o la interacción, con la administración pública, la banca, compras, etc.

El uso de las TIC ha crecido considerablemente durante los últimos 20 años, alcanzando los 2,5 mil millones de usuarios de Internet [28]. De hecho, el **80 % de los europeos acceden a Internet** [28, 29].

La gran ventaja de las TIC, en concreto el acceso web, es que permiten acceder a estos múltiples servicios y recursos independientemente del lugar y el momento. Por tanto, era de esperar que servicios TIC, como las páginas web, mejorarían la vida, la inclusión social, la vida independiente y la calidad de vida de las personas mayores o de las personas con discapacidad, al permitirles acceder a una **amplia variedad de servicios sin salir de casa**.

Diversas investigaciones se han centrado en valorar como las personas con discapacidad o las personas mayores se pueden beneficiar de las tecnologías disponibles con fines sociales, educativos y personales [30].

Las TIC pueden ayudar a reducir o eliminar barreras que en otras circunstancias impedirían o limitarían a estos grupos poblacionales la realización de

Limitación	Características de accesibilidad
Visual	Flexibilidad para ajustar tamaño de letra, color y contraste.
	Permitir escaneado del texto para lectores de pantalla.
	Audio claro.
	Uso de software para pasar de texto a voz.
	Aumentar tamaño de los elementos interactivos.
Auditiva	Aumentar volumen.
	Combinar con "feedback" visual (p.e. luces parpadeantes).
Cognitiva	Utilización de símbolos/pictogramas.
	Lenguaje claro y simple.
	Elementos interactivos grandes y suficientemente separados.
Motricidad fina	Navegador por voz.
	Evitar el uso de scroll horizontal.
	Minimizar el uso de scroll vertical.
	Menús auto-desplegables al pasar.

Tabla 2.3: Mejoras accesibilidad en función del tipo de discapacidad.

las AVD [31]. Incluso algunos autores defienden que las TIC pueden potenciar las capacidades de las personas con limitaciones hasta el mismo nivel que las personas sin discapacidad [32, 33].

Sin embargo, la falta de adaptación de los requisitos de las TIC a las necesidades y capacidades de estos grupos poblacionales ha tenido el efecto contrario, la exclusión de la sociedad digital: **e-exclusión**.

En Europa, más del 60 % de las personas mayores tienen la percepción que sus necesidades no están adecuadamente abordadas por los actuales servicios y sistemas TIC [34].

Afortunadamente, los gobiernos y la propia sociedad han tomado conciencia de los problemas de acceso a la web de las personas con discapacidad y de las personas mayores.

Los primeros esfuerzos se centraron en la **accesibilidad**: "el grado en que un producto, servicio o entorno puede ser utilizado por el mayor número posible de personas". En la tabla 2.3, se muestran mejoras y funcionalidades para reducir la brecha digital que existe para estos grupos poblacionales [35].

2.2. Accesibilidad

La accesibilidad describe hasta qué grado un producto o servicio puede ser utilizado por usuarios con independencia de sus capacidades. La accesibilidad web se refiere a la capacidad de acceso a la web y a sus contenidos. Según el W3C (World Wide Web Consortium), la accesibilidad web significa que personas con algún tipo de discapacidad van a poder hacer uso de la web [36]. Cuando los sitios web están diseñados pensando en la accesibilidad, **todos los usuarios pueden acceder en condiciones de igualdad a los contenidos**.

El organismo internacional que se encarga de promover la normalización de la accesibilidad web es el W3C [37], una organización creada para desarrollar protocolos comunes que refuercen la interoperabilidad y promuevan la evolución de la web.

A nivel nacional, es el observatorio de Infoaccesibilidad de Discapnet [38, 39, 40], una iniciativa del Programa Operativo de Lucha contra la Discriminación y cofinanciado por Fundación ONCE y Technosite, quién tiene como objetivo principal el generar y difundir información sobre los niveles de accesibilidad en la web.

Dentro del W3C, cabe destacar el grupo de trabajo que lanzó la iniciativa para la Accesibilidad Web, WAI (Web Accessibility Initiative) [1], que publicó diversas **pautas de accesibilidad web** agrupadas en tres temas:

- Pautas de Accesibilidad de las Herramientas de Autor 1.0 [41], destinada a desarrolladores para guiar en la realización de herramientas de autor que faciliten el diseño de páginas web accesibles y que a su vez dichas herramientas sean accesibles.
- Pautas de Accesibilidad de las Aplicaciones del Usuario 1.0 [42], para desarrolladores de software con el objetivo de desarrollar navegadores, visores multimedia y ayudas técnicas para controlarlos que sean accesibles.
- Pautas de Accesibilidad del Contenido en la Web 1.0 [43], que explica en detalle como crear sitios web accesibles. En la actualidad, ya se dispone de la versión 2.0 [44].
- Pautas de accesibilidad para XML (eXtensible Markup Language) [45], que explica como desarrollar aplicaciones XML para conseguir que sean accesibles.

Además, otros organismos de normalización y certificación como AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación), a nivel nacional, o

ISO (International Organization for Standardization), a nivel internacional, han desarrollado durante los últimos años diversas **normativas** para la mejora de la accesibilidad de los contenidos web, aplicaciones informáticas y una amplia variedad de recursos basados en la web [46, 47, 48, 13, 49, 50].

Existen diversas **herramientas** en la web, tanto a nivel nacional como internacional, **para evaluar de forma automática la accesibilidad** de los sitios web:

- Bobby [51]: Es uno de los pioneros en los comprobadores de accesibilidad tanto off-line como on-line.
- A-prompt [52]: Es posiblemente el más completo, permite verificaciones y realiza correcciones de manera semiautomática.
- Test de Accesibilidad Web (TAW) [53]: Herramienta desarrollada por la Fundación Sidar CTIC [54] que permite comprobar ciertos aspectos de la accesibilidad web.
- HERA [55]: Herramienta puesta en línea por la fundación española SIDAR [56], dependiente del Real Patronato sobre Discapacidad, para revisar la accesibilidad de las páginas web de acuerdo con las recomendaciones de las Directrices WAI [57]. Realiza un análisis previo de la página e informa si se encuentran errores (identificables de forma automática) y qué puntos de verificación de las pautas deben ser revisados manualmente.

Sin embargo, el estricto cumplimiento de la normativa y recomendaciones de accesibilidad **no asegura que la información estructurada de esta forma sea usable** [2]. Por ejemplo, una página web puede estar diseñada para permitir la navegación mediante tabuladores o que todos los aspectos gráficos tenga asociados una etiqueta, facilitando su acceso a personas que utilizan interfaces alternativos o personas ciegas; pero eso no asegura que la interacción con la web sea intuitiva o que la organización de la información sea comprensible, lo que podría afectar negativamente a la usabilidad de la web.

Los requisitos de accesibilidad web están orientados fundamentalmente a personas con discapacidad sensorial, especialmente personas con discapacidad visual severa, y personas con discapacidad física, con un menor número de recomendaciones para las personas con discapacidad cognitiva. Estos dos últimos grupos se pueden beneficiar especialmente de disponer de sitios web y aplicaciones TIC fáciles de usar.

2.3. Usabilidad

2.3.1. Definición de la usabilidad

Si bien la usabilidad se considera un tema clave en la interacción hombre-ordenador, no existe consenso sobre su definición, existiendo distintas definiciones de usabilidad. De acuerdo con la norma ISO-9241-11 [58], usabilidad es “el punto hasta el cual un **producto puede usarse por usuarios concretos para alcanzar objetivos específicos con eficacia, eficiencia y satisfacción en un contexto de uso especificado**”.

Según esta definición sería incorrecto referirnos a la usabilidad de un determinado producto. Un producto será más o menos usable dependiendo de quienes lo van a usar y para qué va a ser utilizado.

De la definición anterior también se desprende que la usabilidad hace referencia a aspectos tales como la eficacia y la satisfacción de uso, que a su vez son conceptos muy generales y cuya definición dependerá del tipo de usuarios que utilicen un determinado producto.

Existen otras definiciones como la de Sánchez [59], según la cual, la usabilidad es una recolección de datos empíricos tendentes a caracterizar y estimar la influencia que un determinado diseño ejerce en la capacidad del producto de ser usado fácil, efectiva y eficientemente por los usuarios especificados. Existen ciertas semejanzas entre esta definición y la anterior de la ISO, como la noción de la eficiencia en el uso y la dependencia del tipo de usuarios que van a utilizar los productos.

Sin embargo, esta segunda definición introduce el concepto de **facilidad de uso** que, si bien es ignorado por la definición de la ISO, juega un papel importante para la determinación de la usabilidad. De hecho, parece razonable pensar que la facilidad de uso es un parámetro más importante para la usabilidad en las personas mayores y personas con discapacidad que la eficiencia del uso, concepto que suele ir relacionado con el tiempo necesario para realizar una determinada tarea.

En la misma línea, otros autores destacan la necesidad de tener en cuenta aspecto como la facilidad de uso [60] o el **aprendizaje** [61]. La facilidad de uso **depende** en gran medida **del perfil de usuario y el contexto**, en contraste con la accesibilidad que tiene la intención de cubrir a todos los usuarios, de acuerdo con los planteamientos del Diseño Universal.

Existen diversas guías con **recomendaciones** para mejorar la usabilidad del hardware y software. En concreto, cabe destacar la familia de normas ISO 9241, las cuales proporcionan una amplio conjunto de recomendaciones de ergonomía y usabilidad, e incluso accesibilidad, destinadas a mejora la in-

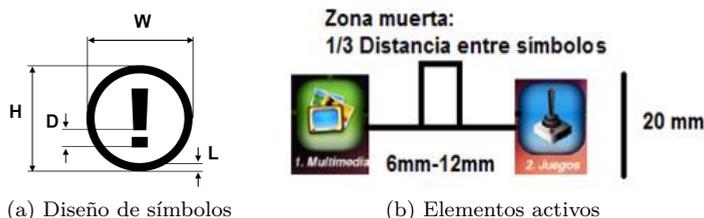


Figura 2.4: Recomendaciones para el diseño de símbolos y características de los elementos activos.

teracción hombre-ordenador (HCI: “Human-Computer Interaction”). Dentro de esta familia, se incluye la norma ISO 9241-151[46], enfocada a mejorar la usabilidad de las interfaces de usuario de la World Wide Web.

En la misma línea, la guía “Research-Based Web Design & Usability Guidelines” [62], redactada por el departamento de Salud y Recursos Humanos de los Estados Unidos (HHS), ha valorado alrededor de 200 recomendaciones de usabilidad. Para ello, se ha apoyado en expertos y una revisión de la literatura en la que se evaluaban las distintas recomendaciones, permitiendo asignar un nivel de importancia relativa y fortaleza de la evidencia (en función de los resultados de estudios existentes) de cada una de las recomendaciones.

Las recomendaciones de usabilidad van desde pautas generales como que la organización de la información sea clara o que la navegación a través de las distintas secciones de la web sea coherente, hasta recomendaciones más específicas como el tamaño de los elementos activos, el número de opciones del menú o la utilización de enlaces directos como ir arriba (tabla 2.4).

A diferencia de la accesibilidad, no existe ninguna herramienta que permita evaluar de forma automática la usabilidad de un sitio web, siendo necesario la utilización conjunta de evaluación de expertos y pruebas con usuarios [68].

Por ello, la aplicación de recomendaciones de usabilidad es difícil, no solo porque se trata de un **concepto complejo de definir, sino porque no hay formas sencillas ni una única forma de evaluarla**, como se discute en la siguiente sección.

Limitación	Recomendaciones Usabilidad
Visual	Utilizar 12-14 puntos (3,8 mm - 4,6 mm) de tamaño de letra y tipología Sans Serif.
	Utilizar alto contraste entre los caracteres y los botones, y los botones y el fondo.
	No utilizar imágenes o patrones de fondo que dificulten la lectura.
	Los símbolos deben tener un tamaño proporcional a la distancia de lectura. Deben cumplir ciertas relaciones entre la altura (H) y anchura (W) de su conjunto y de sus elementos mas pequeños (D, L) (figura 2.4a).
	Combinar distintos tipos de feedback.
Auditiva	Evitar los tonos agudos.
	La información auditiva debe estar en el rango de 300 Hz a 3 kHz.
	Combinar distintos tipos de feedback.
Cognitiva	No utilizar más de 3 niveles de jerarquía.
	No utilizar más de 6 elementos activos por pantalla.
	Utilizar menú con un número de opciones entre 4 y 8.
	Utilizar frases cortas y lenguaje simple sin tecnicismos.
	Proporcionar feedback de todas las acciones realizadas.
	Informar del número de pasos y del paso en el que encuentra.
	No utilizar imágenes en movimiento.
Utilizar símbolos claros y comprensibles. No deben tener más de 2-3 elementos.	
Motricidad fina	Utilizar tamaños de botones de 20 mm de lado (figura 2.4b).
	Utilizar una separación de 6 mm - 12 mm entre los elementos activos y una “zona muerta” (clicar no produce ninguna acción) de 1/3 de dicha separación (figura 2.4b).
	No utilizar scroll horizontal, aplicando diseño fluido.
	Minimizar el uso de scroll vertical, reduciendo la longitud de las páginas o permitiendo acceder a la parte superior con un solo clic.
	Facilitar enlaces directos para moverse fácil y rápidamente de una sección a otra.

Tabla 2.4: Ejemplos de recomendaciones de usabilidad en función del tipo de limitación funcional basados en las actuales recomendaciones de experto y normativas de ergonomía y usabilidad [33, 63, 64, 65, 66, 67].

2.3.2. Aproximaciones para la evaluación de la usabilidad

La usabilidad **no se puede medir directamente** [69], pero es posible evaluar algunos aspectos que pueden proporcionar de forma indirecta información sobre ésta.

A lo largo de los últimos años, se ha utilizado una gran variedad de enfoques y metodologías para evaluar la facilidad de uso de los productos y servicios [69]. El uso de una u otra metodología depende, entre otras cosas, de los resultados esperados y de la etapa del diseño de producto en la que se pretende evaluar su usabilidad.

Hornbaek [69] clasificó las evaluaciones de usabilidad según midieran la eficacia, la eficiencia y las medidas de satisfacción, siguiendo la definición de la ISO [58]. Las variables de eficacia incluían, entre otras, la finalización de la tarea, las medidas de precisión en la realización de la tarea y la calidad del resultado. En cambio, las variables de eficiencia se centraban en aspectos como tiempo necesario para finalizar la tarea, los patrones de uso, el esfuerzo mental y otras asociadas al aprendizaje.

A grandes rasgos, se pueden dividir las metodologías empleadas en **tres grandes grupos** [70]:

1. Valoración de la usabilidad mediante modelos.
2. Valoración de la usabilidad mediante pruebas con usuarios.
3. Valoración de la usabilidad en base a buenas prácticas o recomendaciones de diseño.

La **valoración de la usabilidad mediante modelos** es de utilidad en el momento del diseño de la interfaz, antes de su implementación, dado que pretende predecir qué va a resultar más usable antes de empezar a desarrollar un producto o servicio. Existen, a su vez, dos grandes grupos: modelos cognitivos y modelos heurísticos.

Los modelos o arquitecturas **cognitivas** pretenden determinar el comportamiento de las personas modelando la interacción entre el usuario y el sistema. Los modelos más sencillos son el Modelo del Procesador Humano [71] y la metodología GOMS [71], acrónimo en inglés de “Objetivos, Operadores, Métodos y Reglas de Selección” (Goals, Operadores, Methods and Selection Rules).

Estos modelos están orientados a la estimación del tiempo necesario para realizar una tarea y se basan en la población adulta, excluyendo, por lo general, a grupos poblacionales que tienen sus capacidades reducidas, si bien existe una extensión del Modelo del Procesador Humano que se centra en las personas mayores [72].

Las arquitecturas cognitivas son modelos computacionales de interacción mucho más sofisticados que los anteriores y tratan de modelar, entre otros aspectos, los relacionados con el aprendizaje y la transferencia. Las dos arquitecturas cognitivas más conocidas son ACT-R (Adaptive Control of Thought-Rational) [73] y SOAR [74, 75].

La **aproximación mediante modelos heurísticos** es muy diferente. Asumen una serie de principios y generan métodos para verificar la bondad de un determinado interfaz de acuerdo con estos principios, o bien para medir su cumplimiento. Todos ellos, de un modo u otro, asumen que un sistema será más usable cuanto menor nivel de complejidad entrañe. Entre estos modelos, destaca la valoración que proponen Thimbleby et al. [76] basada en álgebra de matrices y modelos de Markov o el Formal Top-Down Analysis de Lo y Helander [77].

En cuanto a la valoración de la usabilidad mediante **pruebas con usuarios**, existen diferentes metodologías dependiendo de la fase del proyecto en la que se pretenda incorporar a los usuarios, bien sea en el análisis de las necesidades, el diseño de las especificaciones o la valoración de producto final [70, 11]. En este caso, nos centraremos en la valoración del producto final.

Cuando se realizan pruebas de usabilidad con usuarios para la valoración de productos, habitualmente se tiene en cuenta tres fuentes de información: información subjetiva del usuario tras el uso de la interfaz, información subjetiva del experimentador obtenida por observación del usuario e información objetiva obtenida durante el uso del interfaz.

La **información subjetiva** del usuario se obtiene, generalmente, a través de cuestionarios [78, 79], en los que se les pregunta por aspectos generales como su percepción de la dificultad de uso y aspectos más concretos como las modificaciones que haría en el interfaz; o mediante la observación, recopilando información general acerca de las dudas o las decisiones erróneas del usuario durante la interacción con el interfaz.

En cuanto a la **información objetiva**, lo más habitual es medir el tiempo necesario para la realización de una serie de tareas, el número de errores cometidos o el número de pasos realizados para ejecutar la tarea. No es habitual la caracterización del proceso de aprendizaje [61], ni el uso de metodologías más innovadoras, como el análisis de la respuesta emocional o el comportamiento, para evaluar los procesos internos que se desarrollan en el usuario [69].

A pesar de esta variedad de aproximaciones, **las recomendaciones de usabilidad web basadas en la opinión de los expertos son las más extendidas**, siendo fácil encontrar documentos de buenas prácticas y recomendaciones para el diseño de sitios web usables [80]. Uno de los objetivos al evaluar la usabilidad es conocer la relación entre la existencia, posición, ta-

maño o formato de los diferentes elementos. Sin embargo, no existen muchos estudios que profundicen sobre estas relaciones. Se podría destacar el realizado por Nielsen [81], que muestra la eficacia de elementos de ayuda en la navegación como el uso de “breadcrumbs” o migas, que consiste en indicar en que posición de la página se encuentra el usuario y permitirle volver al anterior nivel de jerarquía con un solo clic.

Sin embargo, gran parte de las recomendaciones existentes no han sido validadas mediante estudios sistemáticos con usuarios, por lo que no se conoce realmente la mejora que suponen [80, 61]. Por tanto, **la participación del usuario es clave para validar** que las recomendaciones de usabilidad se adecuan a las necesidades reales de cada perfil de usuario.

Además, la **mayoría de las pruebas** de usabilidad que involucran usuarios **sólo se basan en técnicas subjetivas** como cuestionarios o “thinking aloud”, o en **parámetros básicos**, como la realización de tareas, el tiempo o el número de errores [69]. Sin embargo, estos parámetros no son suficientes para detectar diferencias sutiles [82].

Los enfoques innovadores como el análisis de la respuesta fisiológica o técnicas de seguimiento de la mirada pueden proporcionar **información sobre el comportamiento y el estado emocional del usuario** durante la interacción web en tiempo real, **sin interferir al usuario y de forma objetiva y cuantitativa**.

2.4. Análisis de la respuesta emocional

2.4.1. Definición y teoría de las emociones

La emoción es un concepto complejo y con muchos aspectos sutiles y difíciles de explicar [83, 84, 85].

Las emociones humanas representan fenómenos fisiológicos que abarcan sentimientos, recuerdos y valoraciones; reacciones viscerales, humorales e inmunológicas; gestos corporales, vocalización y muestras expresivas; y orientaciones posturales y comportamientos patentes [86].

Fragopanagos y Taylor [87] muestran la **evolución de las teorías emocionales** a lo largo de la historia, comenzando por Aristóteles, que clasificó las emociones en parejas contrapuestas y explicó las cualidades hedónicas y fisiológicas asociadas a las emociones.

Más tarde, René Descartes introdujo el concepto de comportamiento emocional. Charles Darwin indicó que las emociones están fuertemente ligadas a

su valor de supervivencia, después de estudiar la relación entre las emociones y las expresiones faciales y los movimientos corporales.

Posteriormente, en 1880, James [88] y Lange [89] sugirieron que las emociones provienen de la percepción de estados fisiológicos, mediante el estudio de componentes periféricos de las emociones como la excitación somática [87]. Durante 1960, Arnold [90] y Lazarus [91] sugirieron la teoría de la valoración cognitiva de las emociones [87].

La complejidad existente en la definición y comprensión de las emociones ha provocado la aparición de multitud de teorías, que han intentado explicar la naturaleza, las causas y el objeto de las emociones. De hecho, existen más de **500 teorías** acerca de las emociones [92].

2.4.1.1. Naturaleza de las emociones

Existe una amplia discusión sobre la naturaleza de las emociones; algunos autores defienden que son **innatas** y otros que dependen de la **influencia social**. Por una parte, Izard [93] demostró que existe concordancia entre distintas culturas para muchas de las emociones. Ekman y Friesen [94] comprobaron la universalidad en expresiones espontáneas y en expresiones realizadas deliberadamente. También se han encontrado evidencias de la universalidad de las emociones, especialmente en estudios sobre antropología social [95].

A pesar de la universalidad, se han postulado reglas de comportamiento [96, 97] en las que se expone quién puede mostrar emociones, cómo y cuándo, según la influencia cultural y social. Además, hay que tener en cuenta los factores cognitivos, sociales y de desarrollo que influyen en las emociones humanas [98, 91].

Los distintos estudios se pueden encuadrar en **dos teorías** según el tipo de respuesta emocional:

- Teoría Nativista: Se basa en la visión Neo-Darwinina de los comportamientos expresivos, que asume que la respuesta emocional es innata [99, 100, 101, 102, 103].
- Modelo cognitivo [104]: Sugiere que las “etiquetas” (concepto lingüístico que se asocia a una emoción) adquiridas socialmente, los esquemas verbales y la situación, definen el estado emocional específico.

Sin embargo, en el estudio de las emociones es necesario tener en cuenta ambas características de las emociones, las innatas y las adquiridas socialmente [105].

2.4.1.2. Emociones: ¿Proceso consciente o proceso inconsciente?

En las secciones anteriores se ha comentado la complejidad que entraña definir las emociones, y aún lo es más, su origen o sus causas. Algunos autores definen las emociones como **cambios fisiológicos** [89], mientras otros autores relacionan las emociones con **procesos cognitivos** [106].

De hecho, Cannon [106] argumentó en contra de la teoría de James-Lange los siguientes argumentos [107]:

- Inducir de forma artificial cambios viscerales no provoca emociones.
- Los órganos internos (“viscerales”) tienen poca sensibilidad, debido al reducido número de fibras aferentes en el sistema nervioso autónomo. Por lo tanto, es difícil ver cómo dichos órganos podrían ayudar a la generación de emociones.
- Las emociones siguen siendo observables en pacientes a los que se le ha retirado distintos órganos internos.
- Las reacciones viscerales son lentas, con lo cual no puede explicar el carácter instantáneo de ciertas emociones como el miedo.

Más recientemente, esta distinción se ha seguido realizando, considerando las emociones como patrones somatoviscerales [108, 109, 103] y como valoraciones cognitivas [110].

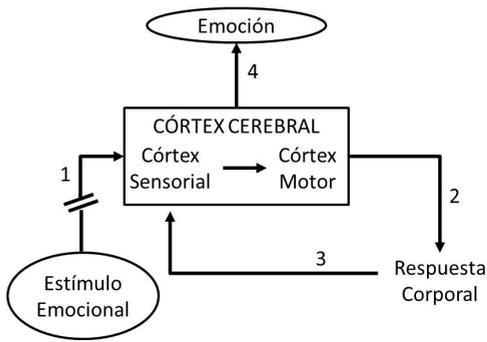
Estas teorías localizan las emociones en distintas partes del cerebro, el cual se compone por el neocórtex, el sistema límbico y el cerebro “reptiliano” [111]. Las teorías cognitivas relacionan las emociones con el neocórtex y las teorías somáticas con el sistema límbico (figura 2.5).

En cualquier caso, cada vez existe un mayor número de autores que trabaja en la hipótesis de que **ambas teorías son parcialmente válidas** dado que la mente no es ni cognitiva ni emocional, sino ambas cosas al mismo tiempo. De hecho, la emoción y la cognición pueden estudiarse como procesos inconscientes que pueden llevar a experiencias conscientes [113].

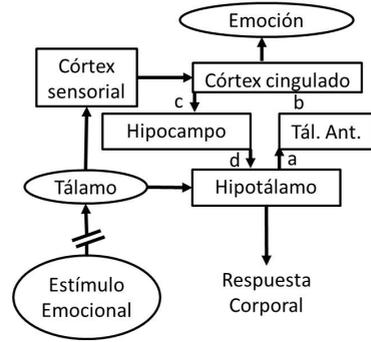
2.4.1.3. Influencia de las emociones en los procesos cognitivos

Es difícil realizar esta distinción entre consciente o inconsciente, ya que las emociones “colorean y definen ” procesos como la toma de decisiones, los juicios y el aprendizaje [114, 115, 116]. Incluso tienen un papel importante en la salud [117] y una estrecha relación con los procesos cognitivos [118].

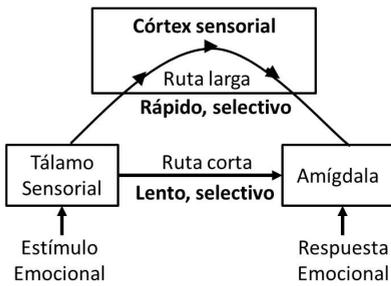
Entre las **funciones cognitivas** más importantes cabe destacar [119]:



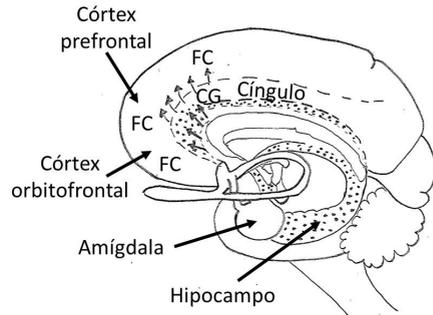
(a) James [88]



(b) Papez [112]



(c) LeDoux y Bemporad [85]



(d) MacLean [111]

Figura 2.5: Teorías de las emociones. Imágenes de elaboración propia, basadas en las representaciones adaptadas por Berthoz [107].

- La percepción: Si se está feliz, se tenderá a percibir sucesos felices, y si se está triste, se tenderá a percibir sucesos tristes [118].
- La memoria y la gestión del conocimiento: Es más fácil recordar un suceso o conocimiento cuando se está en el mismo modo emocional que cuando sucedió [118].
- Las preferencias: En general, se prefieren los objetos que resultan familiares [120].
- Toma de decisiones, generación y evaluación de metas: Un claro ejemplo es el paciente de Damasio [121], quién, después de una operación por un tumor cerebral, no podía sentir emociones; provocando que no fuera capaz de tomar decisiones ni aprender de éstas, a pesar de que su capacidad intelectual permanecía intacta.
- Planificación estratégica: Cuando es necesario tomar una decisión en poco tiempo, se utilizan “atajos” neurológicos para decidir la siguiente acción [122].
- Concentrarse y prestar atención: Las emociones restringen el rango de utilización de pistas [123].
- Motivación y realización de tareas: Si la intensidad emocional aumenta, la eficacia en la realización de tareas también aumenta, hasta un punto óptimo —Curva U inversa de Yerkes-Dodson [124]—.
- Intención: No sólo existen consecuencias positivas a emociones positivas, también existen consecuencias positivas a emociones negativas, las cuáles señalan la necesidad de una acción para mantener o cambiar la situación [125].
- Comunicación: Las emociones afectan el lenguaje corporal [126], la prosa de la voz y las expresiones faciales [94], es decir, a la comunicación no verbal.
- Aprendizaje: Las personas son más o menos perceptivas a aprender cierta información en función de sus preferencias [119].

De las anteriores funciones cognitivas, la toma de decisiones ha sido una de las más estudiados. James [127] distinguió **5 tipos principales de tomas de decisión**: toma de decisiones “razonada”, siguiendo “nuestros sentimientos”, por circunstancias internas, por decisiones impulsivas, por el modo emocional que acompaña la toma de decisiones y directamente influida por nuestra voluntad [107].

2.4.2. Clasificación de las emociones

Antes de intentar clasificar las emociones, resulta de interés distinguir entre diversos términos aparentemente similares, pero que corresponden a conceptos totalmente distintos: emociones, estado emocional, modo emocional y comportamiento emocional.

2.4.2.1. Emociones, estado, modo y comportamiento emocional

Las **emociones, estado y modo emocional difieren principalmente por su duración temporal**. Las emociones están relacionadas con determinados patrones y características, y su ciclo es con frecuencia de algunos segundos. Si estos patrones y características permanecen durante un tiempo mayor, la emoción se convierte en un estado emocional.

El modo emocional, en contraposición a las emociones, tiene una duración temporal mayor y resulta difícil determinar su origen [128]. El modo está relacionado en cómo nos sentimos, definiendo la predisposición a ciertas emociones o la no predisposición a otras. Puede ser positivo, neutro y negativo, si es positivo, estaremos más receptivos a emociones positivas y si es negativo, estaremos más receptivos a emociones negativas.

En cambio, el **comportamiento emocional** está más relacionado con la forma en la que actúa una persona frente a unas circunstancias determinadas. El comportamiento emocional está influenciado por las experiencias emocionales previas y las reglas sociales. Tanto el comportamiento como el modo son aspectos de gran importancia en el manejo y gestión de las emociones. Por ejemplo, existe una relación entre el comportamiento emocional y la evolución de diversas enfermedades [129].

Teniendo en cuenta la distinción entre estos conceptos, si nos centramos en las **emociones**, básicamente existen dos grandes formas para clasificarlas: **aproximación categórica y dimensional**.

2.4.2.2. Aproximación categórica

De acuerdo con la aproximación categórica, las emociones son elementos discretos y existe un conjunto finito que cubre todas las posibles emociones. Distintos investigadores han propuesto **conjuntos de emociones básicas** compuestos entre dos y veinte emociones [130, 100, 131, 108, 125, 132, 104]. Plutchik [131] diferenció ocho emociones básicas: miedo, enfado, vergüenza, alegría, asco, aceptación, anticipación y sorpresa (figura 2.6). Posteriormente, Ekman [102] las redujo de ocho a seis: alegría, miedo, ira, tristeza, sorpresa y asco. Aunque la cantidad y tipo de emociones varían entre los distintos

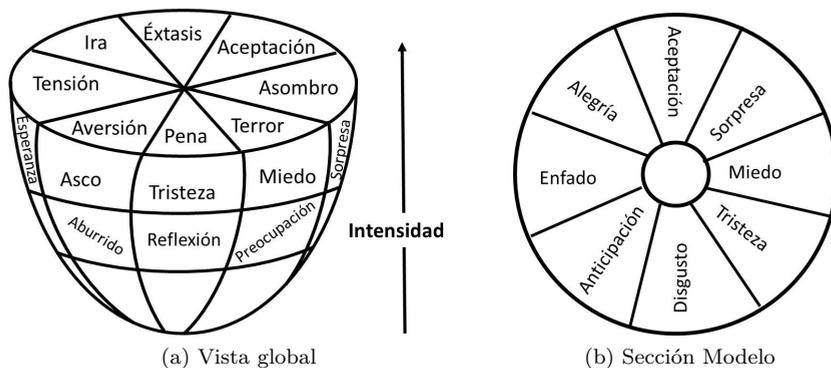


Figura 2.6: Modelo tridimensional de los tipos de emociones según Plutchik [131]. Imágenes de elaboración propia, basadas en las adaptación de Strongman [92]: a) vista de todas las diferentes categorías de emociones y b) sección del modelo que muestra su estructura interior [107].

investigadores, las más comunes son el miedo, el enfado, la tristeza y la alegría [90, 108, 125, 133, 109, 134].

En paralelo, las emociones han sido clasificadas como **primarias**, emociones rápidas y que residen en el sistema límbico [85, 135]; y **secundarias**, emociones que son producidas mediante pensamientos cognitivos [121]. Las emociones primarias están relacionadas con las emociones “animales”, para asegurar que la reacción es adecuada a riesgos importantes [136]. En cambio, las emociones secundarias están relacionadas con el manejo de decisiones complejas.

Sin embargo, existe una gran discusión sobre la clasificación categórica ya que incluso algunos autores han discutido ampliamente sobre si las emociones son puras o mixtas [137].

2.4.2.3. Aproximación dimensional

La aproximación dimensional describe las emociones como puntos que se pueden localizar en un espacio multidimensional. Entre los espacios con mayor aceptación están el de nivel activación o “arousal” y la valencia [86], y el de nivel de activación y acercamiento-alejamiento [138].

En ambas representaciones, la **activación representa la intensidad de la emoción**. La **valencia determina si la emoción es positiva o negati-**

va. En cambio, el **acercamiento-alejamiento** determina si la emoción hace que la persona se mueva hacia la causa de la emoción o se aleje de dicha causa.

2.4.3. Aproximaciones para estudiar la respuesta emocional

Las emociones pueden ser estudiadas a través de tres aproximaciones distintas: utilización de **cuestionarios**, **valoración de la respuesta fisiológica y análisis del comportamiento**. Sin embargo, estas aproximaciones no deben verse como metodologías alternativas para la obtención de emociones, sino como un conjunto de herramientas **complementarias** con salidas parcialmente relacionadas que facilitan y mejoran la detección de emociones ante estímulos determinados [139].

Habitualmente, el estudio de las emociones precisa de una aproximación multidimensional [140]: cuestionarios sobre la emoción percibida por el usuario, datos psicofisiológicos y datos sobre el comportamiento del usuario.

2.4.3.1. Evaluación mediante cuestionarios

Los cuestionarios son utilizados a menudo por su **sencillez** [141]. Sin embargo, el uso de cuestionarios puede llevar asociado diversos problemas como que el usuario sea incapaz de comprender o expresar lo que siente, dar respuestas falsas [141] o no ser capaz de verbalizar diferencias sutiles [82].

Además, rellenar cuestionarios de experiencias emocionales puede **sesgar el comportamiento posterior** [142], es decir, puede provocar que los participantes sean conscientes de las hipótesis y causas de la aparición de dichas emociones, influyendo en las siguientes reacciones.

2.4.3.2. Análisis del comportamiento

El análisis del comportamiento de los usuarios permite obtener información sobre la respuesta emocional de los usuarios mediante la valoración de:

- Posturas corporales y gestos faciales: El análisis de ambos permite detectar la presencia de ciertas emociones [99, 143, 144, 145]. Incluso las medidas de presión en pies y manos [137], o el análisis de la marcha, también aportan información sobre la respuesta emocional [83]. Sin embargo, existen emociones que no parecen tener un claro patrón postural como es el caso de la felicidad [145, 144].

- Respiración: Su análisis permite la detección de situaciones de estrés [146]. Además, diversas investigaciones se han centrado en relacionar la voz y el habla con distintas emociones [147].
- Mirada: Emociones como la culpabilidad y el amor tienen patrones característicos de la mirada [148].

Como se observa, la principal limitación del análisis del comportamiento reside en la **difícultad de obtener patrones claros para las distintas emociones**.

2.4.3.3. Análisis de la respuesta fisiológica

Muchas de las metodologías utilizadas para la valoración de la respuesta emocional están basadas en cuestionarios. Su principal problema es que modifican la respuesta emocional del usuario al utilizar la vía cognitiva de los usuarios para indagar acerca de sus emociones.

Sin embargo, la respuesta emocional de un usuario se procesa en parte de manera inconsciente. Por ello, el análisis de de la respuesta fisiológica es la única opción para obtener la respuesta emocional del usuario sin introducir modificaciones. Además, en la medida de emociones inducidas, ya sean mediante estímulos visuales o mediante la realización de tareas, las medidas fisiológicas o de comportamiento son las más utilizadas [141].

Durante los últimos 10 años, se han utilizado diferentes señales fisiológicas para la valoración de la emoción de acuerdo con la **aproximación dimensional**, previamente mencionada. Entre las señales más empleadas se encuentran las señales de electromiografía (EMG) facial, ritmo cardíaco, presión sanguínea, conductividad de la piel (GSR), electroencefalografía (EEG), temperatura y ritmo respiratorio.

A continuación, se describen algunas de las señales fisiológicas más utilizadas.

2.4.4. Señales fisiológicas para evaluar la respuesta emocional

2.4.4.1. Potenciales evocados

La utilización de potenciales evocados como medida ante la respuesta de estímulos visuales ha sido utilizada por diversos autores [149, 150, 151]. Los resultados que se han obtenido con mayor frecuencia han consistido en una modulación positiva del potencial al visualizar tanto estímulos placenteros

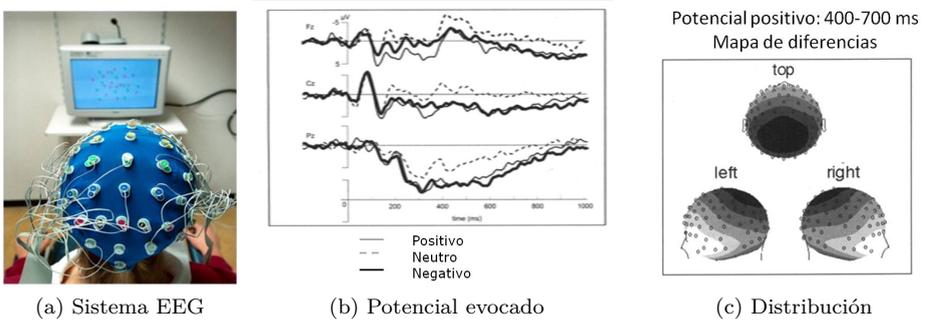


Figura 2.7: Sistemas de registro de EEG (2.7a), medidas de los potenciales evocados durante la representación de imágenes del IAPS durante 6 segundos (2.7b) y la distribución de las diferencias de potencial (2.7c) sobre la cabeza [152]. Reimpresión de imágenes de Lang y Bradley [153], con permiso de Oxford University Press.

como desagradables (figura 2.7b). Incluso, la asimetría de la electroencefalografía (EEG) permite **determinar la valencia** frente a un estímulo o el acercamiento-alejamiento [86].

Además, se ha detectado la presencia de una onda lenta positiva que se mantiene una vez el estímulo ha finalizado [150].

El principal problema en la utilización de estas señales es la baja relación señal-ruido, dificultando considerablemente la obtención de la respuesta emocional. Además, es una **técnica muy invasiva** para el usuario (figura 2.7a).

2.4.4.2. Electromiografía facial

La electromiografía (EMG) facial es útil para realizar estudios de emociones en los que la activación emocional es tan baja que no es perceptible en los gestos faciales [154]. Hay dos músculos que se suelen utilizar para la valoración emocional, el **zigomático mayor, relacionado con la sonrisa;** y el **corrugador superciliar, relacionado con el gesto de fruncir el entrecejo.**

Schwartz fue el primer investigador que relacionó ambos músculos con las emociones al darse cuenta de que imágenes desagradables producían mayor actividad del corrugador superciliar, y que las imágenes agradables provocaban

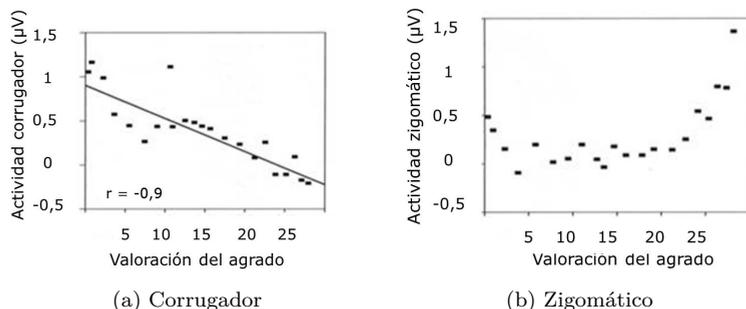


Figura 2.8: Variación de la EMG facial sobre el corrugador superciliar (izquierda) y sobre el zigomático mayor (derecha) según el nivel de valencia [159, 150]. Reimpresión de imágenes de Lang y Bradley [153], con permiso de Oxford University Press.

mayor actividad en el zigomático mayor, relacionando la actividad de ambos músculos con la valencia de las emociones [155, 156, 157].

La relación de ambos músculos con la valencia difiere considerablemente. Algunos investigadores refieren mayor actividad en el corrugador superciliar que en el zigomático mayor [139, 158]. Además, la relación con la valencia de la señal de EMG de estos músculos parece ser lineal en el caso del corrugador superciliar (figura 2.8a), pero tiene forma de “J” (figura 2.8b) en el caso del zigomático mayor [159].

Existe menos consenso sobre si la actividad EMG está relacionada con el nivel de activación. Algunos autores sugieren que, al menos en el caso del corrugador, esta relación existe, mientras que otros sugieren lo contrario [160]. Desde el punto de vista de Cacioppo et al. [161], mediante el registro de la EMG facial **se puede obtener tanto la valencia como la activación**.

Aunque el corrugador y el zigomático han sido ampliamente utilizados, también se han utilizado otros músculos como el orbicular para medir emociones con valencia positiva [105, 162].

2.4.4.3. Variación del ritmo cardíaco

Se han realizado una amplia variedad de estudios que incluyen la variación del ritmo cardíaco como parámetro para clasificar las emociones. Graham y Clifton [163] observó que la visualización de imágenes durante 6 segundos

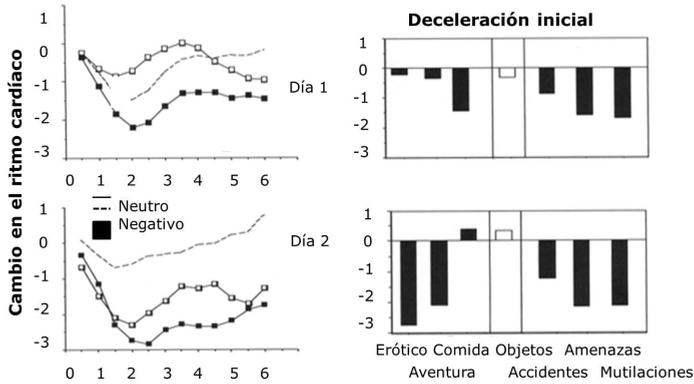


Figura 2.9: Onda cardíaca compuesta por tres fases provocada por imágenes del IAPS (International Affective Picture System) [164] mostradas durante 6 segundos, según los niveles de valencia (izquierda) y para contenidos fotográficos específicos (derecha), y su evolución con la repetición de estímulos en dos días distintos. Reimpresión de imágenes de [153], con permiso de Oxford University Press.

provocaba un patrón en la variación del ritmo cardíaco (figura 2.9). Este patrón se componía de 3 fases: deceleración inicial [163], seguida de una componente de aceleración y finalmente por una última componente de deceleración [153].

La **valencia de la emoción** contribuye a la magnitud de la deceleración inicial así como en la aceleración posterior, produciendo mayor deceleración inicial los estímulos con valencia negativa [153]. En cambio, los estímulos positivos provocan un aumento en el pico de aceleración [159].

En otros estudios, se han utilizado diversos índices de actividad cardio-respiratoria para evaluar emociones como el miedo, el enfado o la alegría [165, 166, 167], observando como la frecuencia cardíaca tiene una mayor aceleración en el enfado y el miedo, o como la presión sanguínea y el volumen sanguíneo muestran mayores niveles durante las emociones con valencia negativa [168].

Sin embargo, la utilización de la variación del ritmo cardíaco presenta diversos problemas relacionados con la duración y la repetición del estímulo. Por un lado, estímulos con una duración de medio segundo provocan una breve deceleración que no varía prácticamente con la frecuencia [169]. Por otro lado, la deceleración inicial disminuye rápidamente cuando el mismo estímulo se muestra repetidamente durante un experimento [170].

Esta limitación dificulta su uso para medir la valencia de la emoción, sin embargo, **su influencia en la intensidad o actividad emocional es más clara**. La variabilidad del ritmo cardíaco (HRV) está inversamente relacionada con la intensidad emocional, cuando el usuario tiene una alta demanda cognitiva o emocional, el corazón tiene un ritmo fijo para optimizar el rendimiento, reduciendo la variabilidad cardíaca. En cambio, cuando el usuario está en una situación de relax, el ritmo del corazón es más variable, ya que no necesita optimizar el rendimiento del cuerpo, aumentando la variabilidad [171, 172]. Además, también se puede obtener información a partir de la distribución de la energía en distintas bandas de frecuencia [173, 174].

2.4.4.4. Conductividad de la piel

La conductividad de la piel (GSR: Galvanic Skin Response o SC: Skin Conductance) está formada por dos componentes: la respuesta tónica y la respuesta fásica. La **respuesta tónica** es el valor de conductividad de la piel en ausencia de cualquier evento, variando de forma lenta a lo largo del tiempo (0 Hz- 0,05 Hz). En cambio, la **componente fásica** de la piel (figura 2.10) está **asociada a eventos** en los que se ha producido un cambio o variación, produciendo fluctuaciones rápidas (0,05 Hz- 1,5 Hz) y puntuales [175].

Para asegurarse que la respuesta es consecuencia de un evento específico, algunos autores [176] comprueban que se cumplen las siguientes características:

- La pendiente de la subida al pico es superior a 0,05 $\mu\text{S}/\text{min}$.
- La amplitud es superior a 0,05 μS .
- El tiempo entre subida y bajada entre variaciones es superior a 0,25 s.

Los cambios en la conductividad de la piel (GSR) están fuertemente relacionados con las variaciones en el **nivel de activación** [177, 162, 178]. Un aumento en el nivel de activación provoca un aumento en el nivel de GSR, generando un potencial positivo que empieza unos 400 ms después del estímulo [153] y tienen una duración entre 400 ms y 700 ms [150, 159].

Se puede extraer información de ambos componentes [180, 79, 181], aunque se suele utilizar la componente fásica, especialmente cuando se quiere conocer la respuesta del usuario frente a un estímulo controlado [82, 182].

2.4.4.5. Combinación EMG facial, GSR y HRV

La EMG facial, GSR y HRV han sido frecuentemente utilizadas para medir el nivel de activación y la valencia de las emociones, encontrando relaciones fiables entre los niveles de dichas señales con la activación y la valencia [158, 86].

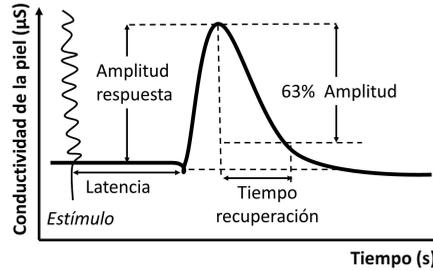


Figura 2.10: Forma de la componente física de la GSR. Imagen de elaboración propia, basada en [179].

Tanto en la EMG facial como en la GSR existen diferencias según el género del usuario, ya que existe una menor actividad en el zigomático para los hombres [153] y en cambio, los hombres muestran mayores variaciones en la GSR según el contenido del estímulo [178].

La combinación de estos grupos de variables aportan tanto la activación o arousal, en el caso de la GSR y HRV, como la valencia emocional, en el caso de la EMG sobre el corrugador (EMGc) y el zigomático (EMGz). Incluso, como se ha visto anteriormente, el HRV puede aportar información acerca de la valencia emocional y las señales de EMG sobre el nivel de intensidad.

Esto permite situar la respuesta a cada estímulo en un **modelo de dos dimensiones** e incluso asociarlo a respuestas emocionales concretas, aproximación categórica (figura 2.11).

2.4.5. Utilización de señales fisiológicas para evaluar la interacción usuario-ordenador

Mientras que los fisiólogos han usado estas medidas para objetivar emociones como ira, dolor y tristeza [108], los investigadores centrados en factores humanos e interacción hombre-maquina (HCI o HMI) las han utilizado para determinar el esfuerzo mental y el estrés [184].

Las respuestas fisiológicas del usuario pueden contribuir al diseño y evaluación de interfaces HMI, ya que permiten identificar factores y eventos que causan cambios en el nivel de activación del usuario al percibir estímulos [173].

Los cambios en los niveles de activación pueden surgir como el resultado de emociones negativas asociadas a la **frustración** que pueda producir el software, a emociones positivas asociadas a la satisfacción de completar la tarea,

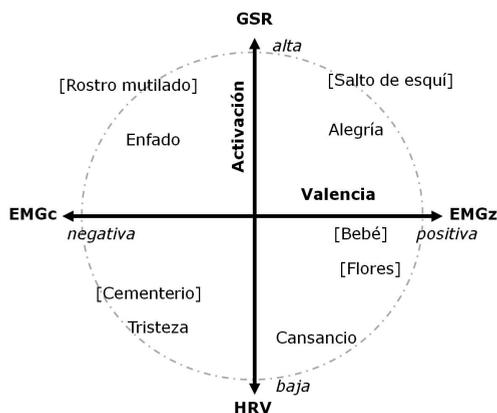


Figura 2.11: Modelo de 2 dimensiones, activación y valencia, a partir de la EMG facial y la GSR y HRV. Los estímulos emocionales se muestran entre corchetes. Imagen de elaboración propia, basada en [183].

a cambios de atención en respuesta a un contenido particular y a momentos de elevada **carga de trabajo** [180].

Para el análisis de esta información existen dos aproximaciones. La primera consiste en comparar la media de las medidas fisiológicas a través de periodos de tiempo definidos, con el objetivo de identificar diferentes niveles de activación en diferentes situaciones. La segunda consiste en encontrar los cambios fisiológicos en instantes de tiempo en respuesta a estímulos, con el fin de identificar el efecto de eventos conocidos o para identificar los eventos que producen determinados cambios fisiológicos [180].

Diferentes señales fisiológicas como la respuesta galvánica de la piel (GSR) [180], la electromiografía facial (EMG), el electrocardiograma (ECG) [185] o la electroencefalografía (EEG) [186] han sido ampliamente utilizadas para ello.

Scheirer et al. [187] encontraron relaciones entre la frustración en la resolución de tareas y la GSR y la presión arterial. Estas variables, junto con el HRV, permiten detectar cambios durante la realización de tareas en función del diseño de la web [180]. Además, la activación de la señal de EMG en el músculo corrugador, que está relacionado con la frustración, varía según la complejidad de la web [188].

Sin embargo, Ward y Marsden [180] destacan la **dificultad de extraer diferencias estadísticamente significativas** de las respuestas psicofisioló-

gicas durante la interacción, debido, entre otros, a la falta de control en las condiciones de los ensayos.

2.5. Análisis de la trayectoria visual

2.5.1. La mirada

Lo que una persona está mirando es la referencia del proceso cognitivo que desarrolla. Esta hipótesis “ojo-mente” significa que el registro de los movimientos del ojo puede proporcionar una estimación de donde está centrada la atención de una persona en relación a una imagen [189].

La mirada está formada por **dos componentes** (figura 2.12):

- Fijaciones: Permanencia de la mirada sobre un punto. Han sido ligadas al proceso cognitivo [190], ya que permiten enfocar nítidamente el objeto observado. Su duración aproximada media es de 200 ms - 300 ms, aunque su tamaño depende de las imágenes que se observan.
- Sacádicos: Movimientos voluntarios (e involuntarios) que nos permiten visualizar diversas zonas de una escena, mediante saltos o movimientos rápidos, con una duración aproximada media de 30 ms - 120 ms [191]. Se mueven distinguiendo las partes importantes de una escena, construyendo así un mapa mental que ayuda a establecer una correspondencia entre la idea establecida por el usuario y la escena real. Durante estos sacádicos, la visión queda prácticamente suprimida, es decir, dejamos de ver aunque no seamos conscientes de ello.

Hay al menos tres claves para entender el movimiento ocular en la representación de escenas y en la **adquisición de la información** que encierran [192]:

- El movimiento ocular es crítico para la eficiente y correcta adquisición de la información visual durante tareas cognitivas complejas y para la forma en la que se controlan los movimientos.
- El estudio de los patrones del movimiento ocular contribuye al entendimiento de cómo la información se ve continuamente adquirida y representada.
- La información del movimiento ocular provee una medida no intrusiva del procesamiento de la información visual y cognitiva.

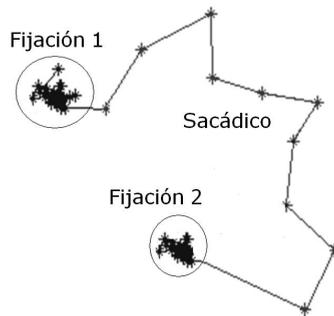


Figura 2.12: Componentes de la mirada.

2.5.2. Modos de inspección visual

La inspección visual puede clasificarse en función de las circunstancias en que tienen lugar y el objetivo:

- Mirada **espontánea**: Tiene lugar cuando un sujeto contempla una escena sin ningún objetivo [193] y se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:
 - Al realizar este tipo de observación, el patrón de mirada está controlado por determinadas características de los estímulos como la novedad, la complejidad y la incongruencia.
 - En contra de lo que cabe esperar, los puntos de interés del observador no están condicionados por las cualidades físicas de los elementos que componen la escena visual (brillo, número de detalles, etc.).
 - La mirada se ve atraída por las partes de la escena que contienen la mayor cantidad de información para su percepción, no prestándose siquiera atención a los contornos físicos, a no ser que aporten información importante para el reconocimiento de la escena [194].
 - Sin embargo, un observador espontáneo puede prestar atención a elementos de la escena que no aportan ninguna información sobre ésta porque piensa que va obtener información de dichos puntos [194].
- Mirada **asociada a una tarea**: Se lleva a cabo cuando el observador contempla una escena con relación a una tarea o pregunta [193]. Se ha

llegado a observar siete patrones de mirada distintos al solicitar al observador de un cuadro que lo analizase y respondiese a siete preguntas sobre la escena representada [194].

- **Mirada orientada por el pensamiento:** Ocurre cuando la persona en cuestión no presta atención a aquello que mira, sino que se centra en algún tipo de pensamiento interno [193]. Por ejemplo, al hacer deletrear una palabra de fin a principio, los sujetos mueven los ojos de derecha a izquierda, como si leyeran al revés la palabra a deletrear [195].
- **Mirada con intención de manipulación:** Se trata del acto de dirigir la mirada hacia una parte específica de una escena con la intención de manipular algún factor de la escena [196]. En estas circunstancias, el papel del observador se ve transformado, ya que el sistema ocular deja de ser un receptor pasivo de información, pasando a actor y modificador de la escena. Se han desarrollado multitud de aplicaciones basadas en estos principios [197, 191, 198, 199], principalmente en forma de interfaces computador-persona. Los usuarios de dichos sistemas son conscientes de que utilizan la mirada como interfaz de entrada para controlar un sistema o una aplicación.

2.5.3. Relación entre la mirada y el proceso mental

Las miradas espontáneas o asociadas a una tarea se suelen dirigir a aquello en lo que se tiene interés [200, 201, 202]. Determinadas experiencias constatan que puede existir cierta borrosidad a la hora de relacionar aquello que se sitúa en el campo de visión de un observador y lo que es tenido en cuenta por éste [201, 203].

Modelar los procesos mentales asociados a la mirada permite una mejor comprensión de este tipo de fenómenos. Baddeley [204] define la memoria de trabajo como un espacio de almacenamiento temporal de la información visual. En esta línea, Just y Carpenter [205] establecen una teoría sobre el proceso de lectura, planteando dos **hipótesis sobre la relación entre la fijación ocular y la teoría de la lectura:**

- **Hipótesis de la inmediatez del procesamiento:** El objeto enfocado por el sujeto se procesa de manera inmediata a varios niveles.
- **Hipótesis de la conexión ojo-mente:** El ojo se conecta con la mente de manera que se mantiene el enfoque en un objeto durante el tiempo necesario para su procesamiento.

La segunda hipótesis resulta de particular interés en el contexto de esta Tesis, ya que establece **una conexión entre la mirada y el procesamiento mental**. La hipótesis de la conexión ojo-mente no puede ser aplicada si no se da la siguiente condición: la tarea debe implicar la obtención de información del entorno visual por parte del observador, así como su codificación y procesado [189].

Además, si se sabe que el observador está realizando procesos internos que requieren información visual del entorno, se puede asumir que existe una **buen correlación entre la mirada y los parámetros del estímulo** que el sujeto está considerando [196]. Más allá de la existencia de la correlación, se considera que el tiempo de atención a un determinado elemento tan solo puede considerarse una estimación del tiempo de procesamiento interno máximo [189].

2.5.4. Trayectorias y estrategias de inspección visual

Estudios anteriores han permitido alcanzar diversas **conclusiones** acerca de las trayectorias y las estrategias de la inspección visual:

- Dependencia entre la trayectoria de la mirada y la tarea a realizar: Los movimientos oculares reflejan los procesos mentales del usuario, permitiendo identificar qué elementos, en qué orden y con qué frecuencia atraen la atención del usuario. Los elementos más importantes se visualizan en primer lugar y, posteriormente, vuelven a ser revisados; limitando el tiempo de observación a elementos de menor importancia [194]. Esta primera trayectoria de observación de un elemento, por ejemplo, en una pantalla de una aplicación, ocupa el 30 % del período de observación [201], permitiendo al usuario decidir de un modo rápido cuáles son los elementos clave.
- Factores condicionantes: La estrategia de observación está condicionada por la composición del estímulo a evaluar y el sujeto [201].
- Experiencia previa y conocimientos del usuario: Se han encontrado diferencias significativas entre sujetos expertos y noveles en tareas de inspección para la toma de decisiones [206], tanto en la calidad de la respuesta, como en el número de elementos que observan, y el número y duración de las fijaciones [207].
- Área de percepción de cambios: Las personas pueden percibir cambios en un ángulo de $4,5^\circ$ respecto del punto de fijación de la mirada [208].

Por tanto, no se puede afirmar que la información adquirida mediante la visión periférica contribuye al reconocimiento de la sustitución o eliminación de elementos de un estímulo.

- Evaluación subjetiva de la calidad: Se han encontrado resultados que demuestran que los parámetros de la mirada varían en función de las instrucciones y de la calidad de la imagen [209].
- Búsqueda visual basada en la comparación: Existen tres estrategias en función del objeto a evaluar [210]:
 - Búsqueda basada en el estímulo: Consiste en minimizar la trayectoria de observación, estrategia del cartero.
 - Búsqueda en áreas de tamaño fijo: Inspección consecutiva y exhaustiva de las distintas zonas, estrategia de la linterna.
 - Búsqueda en áreas de tamaño variable: Se inspeccionan grupos de objetos, los cuales constituyen áreas cuyas dimensiones dependen de la densidad de elementos y de la heterogeneidad de los mismos, estrategia de “clustering”.

2.5.5. Tecnologías y sistemas para el registro de la mirada: Eye-trackers

Aunque la tecnología de “Eyetracking” puede parecer reciente [211], el estudio del movimiento ocular tiene más de un siglo de historia, y su primera aplicación en el diseño ergonómico data de los años 50 [212]. Existe una gran variedad tecnológica de sistemas para el registro de la mirada, cada uno con sus propias ventajas e inconvenientes. Se pueden clasificar en **tres grandes grupos** en función del proceso de captura de la información:

1. Uso de un elemento incorporado en el ojo, como una lente de contacto especial con un espejo alojado en su interior o un sensor con un campo magnético, donde el movimiento del elemento incorporado se mide bajo el supuesto que no se desliza demasiado mientras el ojo rota.
2. Uso de un método óptico no intrusivo para la medición del movimiento ocular. Una luz infrarroja es reflejada sobre el ojo y recogida por una vídeo cámara u otro sensor óptico especialmente diseñado para ello. La información es analizada para extraer la rotación ocular a partir de los cambios en los reflejos oculares. Los Eye-trackers basados en cámaras, usan normalmente el reflejo de la superficie externa de la córnea y el

centro de la pupila como rastro para el seguimiento de la trayectoria visual.

3. Uso de potenciales eléctricos medidos con electrodos de contacto situados cerca de los ojos. La variante más común de esta tecnología es el electro-oculograma (EOG), que se basa en que el ojo tiene un potencial eléctrico fijo, siendo la córnea el polo positivo respecto a la retina.

Aunque el uso de potenciales eléctricos aporta una gran precisión, es una técnica muy intrusiva e incómoda para los usuarios [191]. Afortunadamente, la mayoría de sistemas actuales son mucho menos molestos, ya que se basan en cámaras, sin necesidad de contacto físico.

El creciente interés en estas tecnologías está motivado, probablemente, por el aumento de soluciones comerciales a precios relativamente asequibles (20.000 € - 30.000 €) y la considerable mejora de la técnica. Además, aunque con menor precisión, empiezan a surgir las primeras propuestas de bajo coste [213].

Para el análisis de páginas web o aplicaciones de ordenador, se suelen utilizar los sistemas basados en un monitor que recoge la trayectoria de la mirada a través de la señal recibida gracias al reflejo pupilar de luz infrarroja, como el sistema Eye-tracker Tobii (ver sección 4.2.5.2). Esta elección se debe a que son menos intrusivos que los sistemas basados en potenciales; y no se precisa analizar al usuario en movimiento, como en un supermercado, que requeriría el uso de grabaciones de vídeo de los movimientos oculares o de una lente especial con espejos.

La mayor parte de los sistemas para el análisis de páginas web utilizan una frecuencia de muestreo de 240 Hz - 350 Hz, e incluso algunos llegan a 1000 Hz - 1250 Hz. Dicha frecuencia es necesaria para capturar los detalles del rápido movimiento de los sacádicos y micro-sacádicos.

Con independencia de la frecuencia de muestreo, existe un problema con los sujetos cuyos ojos no pueden ser calibrados, porcentaje que se sitúa entre el 10 % y el 20 % [211, 214, 215], encareciendo este tipo de pruebas debido a la necesidad de reemplazar los sujetos que no pueden ser calibrados. Por ejemplo, el uso de gafas progresivas dificulta la correcta calibración [216].

2.5.6. Análisis cualitativo del seguimiento de la mirada

Para posibilitar la **interpretación** de la inmensa cantidad de **datos** que se recogen durante una sesión de Eyetracking, existen paquetes de software (Tobii Studio, OGAMA – OpenGazeAndMouseAnalyzer-, RITCode, iComponent o ETU Driver2) que generan una serie de animaciones y representaciones con el

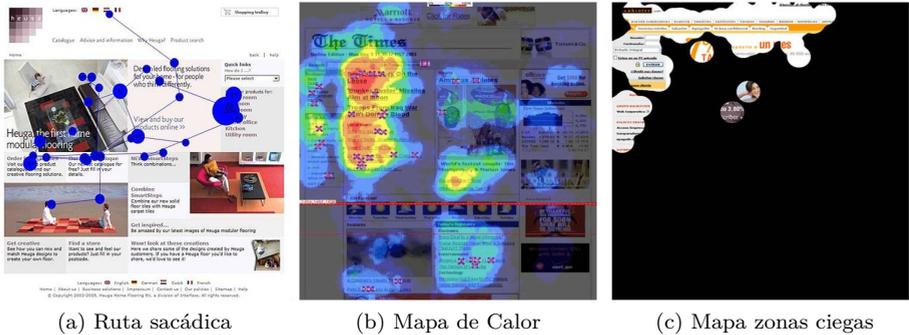


Figura 2.13: Ejemplos de representación visual de la información registrada mediante un sistema de eye tracking. Imágenes extraídas de Usolab [217], Poynter [218] y Simpleusability [219].

objetivo de resumir gráficamente el comportamiento visual de un usuario o un conjunto de usuarios (figura 2.13).

Para analizar el comportamiento visual de los usuarios de forma individualizada se suelen emplear representaciones animadas de un punto sobre la interfaz, que indican dónde ha fijado en cada momento el participante su atención, así como un pequeño rastro en forma de línea que indica los movimientos sacádicos previos.

También es posible emplear representaciones estáticas del camino o ruta sacádica de la exploración visual (figura 2.13a), aunque éstas resultan más difícilmente interpretables que las animadas.

Una representación estática alternativa, principalmente adecuada para el análisis aglomerado de los patrones de exploración visual de grupos de usuarios, son los 'heatmaps' o **mapas de calor** (figura 2.13b). En estas representaciones, las **zonas "calientes"** (la escala utilizada para definir una mayor o menor frecuencia de mirada, es la calorífica, con el rojo para el mayor valor y el azul para el menor) o de mayor intensidad señalan dónde han fijado los usuarios su atención con mayor frecuencia.

Otra forma de representación es el uso de mapas de **zonas "ciegas"** (figura 2.13c), versión simplificada de los mapas de calor, en los que la diferencia blanco-negro sobre qué zonas han sido visualmente más atendidas que otras. Esto facilita la comprensión instantánea de la información más relevante, qué zonas han sido las únicas que los usuarios han visto.

Todas estas representaciones gráficas resultan muy ilustrativas y tienen una gran capacidad de cara a comunicar los resultados, ya que permiten demostrar a través de un solo “pantallazo” que el usuario no explora la interfaz de forma tan ordenada y previsible como se podría creer [220].

Si bien estas aproximaciones cualitativas permiten disponer de una visión general de la página web o la aplicación TIC, **existen otras variables** extraídas a partir de las componentes de la mirada, fijaciones y sacádicos, **que aportan información cuantitativa y de mayor detalle** sobre la interacción del usuario con el interfaz.

2.5.7. Variables cuantitativas extraídas a partir del seguimiento de la mirada

La mirada, como se ha explicado anteriormente, se compone de fijaciones y sacádicos, siendo el “scanpath” la secuencia completa “sacádico-fijación-sacádico”

Las principales medidas utilizadas en el estudio de la exploración visual se centran en las fijaciones y los sacádicos. Las **variables derivadas de las fijaciones y los sacádicos** se describen en las tablas 2.5 y 2.6. Cabe resaltar que para poder analizar la trayectoria del sacádico en detalle es necesario utilizar frecuencias de muestreo superiores a 120 Hz.

Sin embargo, existen otras medidas como el “**scanpath**” (tabla 2.7), tamaño de la pupila (relacionada con el esfuerzo cognitivo [228]) y frecuencia de parpadeo. Por ejemplo, en una tarea de búsqueda un scanpath óptimo se ve como una línea recta al objetivo, con relativa corta duración de la fijación en el objetivo [221].

Variable	Explicación
Número total de fijaciones	Mayor número de fijaciones indica menor eficiencia en la búsqueda [221].
Fijaciones por área de interés	Mayor número de fijaciones en un área particular indica mayor importancia respecto a otras áreas [214].
Fijaciones ajustadas por la longitud	Si las áreas sólo comprenden texto, la media del número de fijaciones por área de interés debe ser dividida por la media del número de palabras del texto [214].
Duración de fijaciones	Una duración de fijación más larga indica dificultad en la extracción de información o que el objeto es más atractivo [189].
Gaze	Es la suma de la duración de todas las fijaciones dentro de un área definida [222].
Densidad espacial de fijaciones	Las fijaciones concentradas en una pequeña área de interés indican búsqueda centrada y eficiente. Fijaciones dispersas indican ineficiencia en la búsqueda [223].
Repetición de fijaciones	Un gran número de fijaciones fuera del objetivo fijado indican que no tiene sentido o falta visibilidad [221].
Primera fijación en el objetivo	Tiempos rápidos hasta la primera fijación en un objeto o área significan que existe mejor atención o adquisición de propiedades [224].
Porcentaje por área de interés	Si una baja proporción de participantes se fija en un área que es importante para la tarea, ésta debe ser resaltada o cambiada de sitio [225].
Fijaciones por objetivo	Número de fijaciones en el objetivo divididas por el número total de fijaciones. Un ratio pequeño indica que hay baja eficiencia en la búsqueda [221].
Fijaciones por segundo	Número de fijaciones empleado para realizar la tarea normalizado por el tiempo de la tarea, ya que probablemente tareas más largas requerirán más fijaciones [211].

Tabla 2.5: Principales variables extraídas a partir de las fijaciones.

Variable	Explicación
Número de sacádicos	Más sacádicos indican más búsqueda [221].
Amplitud de los sacádicos	Sacádicos largos indican estímulos más significativos [226].
Sacádicos regresivos	Las regresiones indican la presencia de estímulos menos significativos [227].
Cambios en las direcciones	Cualquier desplazamiento mayor de 90° del sacádico que lo precede indica un rápido cambio en la dirección. Esto puede significar que el objetivo ha cambiado o que la interfaz no se ajusta a lo que esperaba el usuario [223].

Tabla 2.6: Principales variables extraídas a partir de los sacádicos.

Variable	Explicación
Duración del scanpath	Mayor duración del scanpath (figura 2.14a) indica menos eficiencia en el barrido [221].
Longitud del scanpath	Mayor longitud del scanpath (figura 2.14b) indica menos eficiencia en la búsqueda [226].
Densidad espacial	Una pequeña densidad espacial indica una búsqueda más directa [221].
Matriz de transición	Revela el orden de la búsqueda en términos de transiciones de un área a otra (figura 2.14e) . Scanpaths con una densidad espacial idéntica pueden tener diferentes valores de transición [221, 229].
Regularidad del scanpath	Una vez está definido el comportamiento de la exploración visual, la desviación respecto a éste puede indicar problemas de búsqueda, debido a la falta de entrenamiento del usuario o un mal diseño de la interfaz [221].
Cobertura área convexa	La longitud del scanpath en el interior del área convexa (figura 2.14c) define el barrido en un área [221].
Dirección scanpath	Puede determinar la estrategia de búsqueda (figura 2.14d) de un participante con menús, listas u otros elementos [230].
Ratio sacádico fijación	Compara el tiempo utilizado en la búsqueda (sacádicos) con el tiempo utilizado en el tratamiento (fijaciones). Un mayor ratio indica más tratamiento o menos búsqueda [221].

Tabla 2.7: Principales variables extraídas a partir del scanpath.

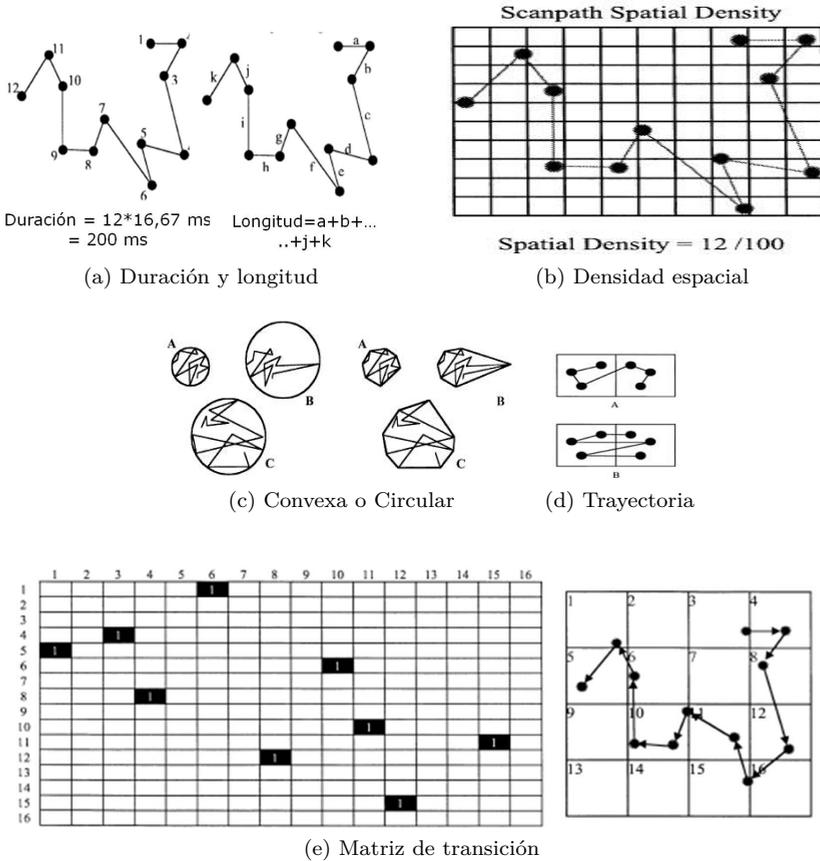


Figura 2.14: Representación gráfica de las variables derivadas del scanpath. Reimpresión de imágenes de [221], con permiso de Elsevier.

Algunas variables de la exploración visual, como el número de fijaciones, **son dependientes del tiempo**, es decir, cuanto más tiempo un usuario mire una interfaz, mayor será el número de muestras.

El uso de la exploración visual para medir la usabilidad surge en 1950 con el trabajo de Jones et al. [231], los cuales capturaban el movimiento de los ojos con una cámara de vídeo y posteriormente lo analizaban frame a frame. A pesar del método rudimentario que utilizaban, Fitts et al. [212] proporcionaron

conclusiones que aún se utilizan [211]. Sin embargo, a día de hoy sigue sin existir un proceso claro de medida, tratamiento y selección de las variables.

La selección de la variable más adecuada para el análisis de la exploración visual depende de los objetivos del estudio, aspectos estéticos o de usabilidad; y de la información disponible, debido al equipo de adquisición de datos y la configuración del ensayo. Si el estudio se basa en la identificación de las zonas de una interfaz que resultan más interesantes a los usuarios, basta con contar el número de fijaciones dentro del área de interés. Sin embargo, medir la usabilidad de una interfaz y el efecto de sus elementos requiere de analizar en detalle las fijaciones, sacádicos y el scanpath.

2.6. Conclusiones del estado del arte

La revisión de la bibliografía ha permitido extraer diversas conclusiones y remarca la necesidad de profundizar en algunos temas científico-técnicos:

- Existe un amplio conjunto de la **población con diversas limitaciones funcionales** que les dificultan la realización de las actividades de la vida diaria, afectando negativamente a su autonomía personal y reduciendo su calidad de vida. Este conjunto está formado por las personas con discapacidad y de las personas mayores, ambos grupos altamente heterogéneos en cuanto a capacidades se refiere.
- Los **servicios** relacionados con las **TIC**, como las páginas web, pueden potenciar la vida independiente y la calidad de vida de estos grupos, ya que les permiten acceder a diversos servicios sin salir de casa. Sin embargo, la falta de adecuación de los requisitos de las páginas web a las capacidades de dichos grupos, limita considerablemente su uso, llegando a provocar situaciones de e-exclusión. Por tanto, resulta necesario mejorar la accesibilidad y usabilidad de las páginas web, teniendo en cuenta las capacidades de los distintos perfiles de usuarios, para potenciar y facilitar su uso.
- Las recomendaciones de **accesibilidad** están ampliamente extendidas y validadas, así como las herramientas que permiten evaluar de forma automática la accesibilidad. Sin embargo, el cumplimiento de las recomendaciones de accesibilidad no asegura que la web sea fácil de utilizar.
- A diferencia de la accesibilidad, cuyo objetivo es facilitar el acceso a todas las personas, la **usabilidad** depende del usuario. Además, las recomendaciones de usabilidad no están tan ampliamente extendidas como en el

caso de la accesibilidad. De hecho, existen varias definiciones de la usabilidad, así como un amplio abanico de metodologías para su evaluación, ya que, si bien no se puede medir directamente, es posible evaluar algunos aspectos que aporten información sobre la usabilidad. En la actualidad, la mayoría de las recomendaciones de usabilidad se basan en criterios de expertos y no han sido validadas mediante la participación de usuarios. Además, las validaciones existentes se basan, en la mayoría de casos, en metodologías subjetivas como cuestionarios y parámetros básicos como la finalización de la tarea y el tiempo empleado. Sin embargo, existen otras alternativas que pueden mejorar y complementar la información aportada por las metodologías clásicas, como las basadas en el análisis de la mirada o la respuesta fisiológica. Estas técnicas permiten estudiar la interacción del usuario con la web en tiempo real, con una mínima interferencia y aportando valiosa información sobre su comportamiento y su respuesta emocional. Esta información puede ser un indicador mucho más sensible que los tests tradicionales basados en opiniones.

- La emoción es un concepto complejo. En la actualidad se han desarrollado diferentes teorías para definirla, explicar sus orígenes, mecanismos de acción, establecer clasificaciones y definir métodos de evaluación. La **respuesta emocional** se procesa en parte de forma inconsciente y juega un papel clave en muchas de las funciones cognitivas, como la toma de decisiones. A diferencia de otras metodologías como los cuestionarios, el análisis de la respuesta fisiológica permite obtener dicha respuesta inconsciente sin alterar la interacción usuario-producto. Existen diversas variables como la conductividad de la piel, la variabilidad del ritmo cardíaco o la EMG facial que permiten obtener la activación y la valencia de las emociones, permitiendo su representación en un espacio de dos dimensiones, en línea con la aproximación dimensional.
- La **mirada** es una referencia del proceso cognitivo que aporta información sobre el comportamiento del usuario. La mirada se compone de fijaciones y sacádicos, existiendo diversos modos y estrategias de inspección visual. En la actualidad, se dispone de diferentes tecnologías y equipos para su registro, siendo los sistemas basados en sistemas ópticos los más extendidos, ya que a cambio de perder cierta resolución son menos intrusivos para el usuario. El **análisis de la mirada** se puede realizar mediante variables relacionadas con los sacádicos, las fijaciones y la trayectoria. La elección de las variables depende del objetivo del estudio, la información disponible y el equipo de adquisición.

- Para la utilización de estas nuevas aproximaciones, **análisis de la respuesta fisiológica y del seguimiento de la mirada**, es necesario realizar una adecuada selección de las variables y el equipamiento de registro, disponer de un protocolo y una experimentación que reduzca la presencia de estímulos externos y artefactos, y procesar y normalizar las distintas variables. Este es un campo poco desarrollado en general, y aún menos en lo que se refiere a la evaluación de la usabilidad de páginas web por personas con limitaciones funcionales.

Capítulo 3

Hipótesis y objetivos

3.1. Planteamiento de hipótesis

A partir de la revisión del estado del arte se han planteado tres hipótesis:

1. Las recomendaciones de usabilidad web proporcionadas por expertos no han sido validadas mediante pruebas con usuarios, pudiendo existir discrepancias entre las opiniones de expertos y los problemas reales de usabilidad de los usuarios.
2. Las recomendaciones de usabilidad web no son válidas para todos los perfiles de usuario, sino que dependen de las capacidades y características de cada usuario.
3. Enfoques innovadores, como el análisis de la respuesta fisiológica y el seguimiento de la mirada, permiten detectar mejor el efecto de las recomendaciones de usabilidad que las variables tradicionales, como el tiempo o los cuestionarios.

3.2. Objetivos

El objetivo principal de la tesis es determinar la posibilidad de **evaluar la usabilidad en la interacción hombre máquina**, de forma objetiva y cuantitativa, mediante metodologías innovadoras, como el análisis de la respuesta fisiológica y el seguimiento de la mirada, sin tener que recurrir a metodologías

subjetivas, como los cuestionarios, o a variables objetivas tradicionales, como el tiempo y la finalización de la tarea.

Para alcanzar el objetivo principal, se han definido los siguientes **objetivos parciales**:

1. Recopilar los principales parámetros o elementos web y las recomendaciones de usabilidad asociadas a dichos parámetros, más allá de los requisitos básicos de accesibilidad.
2. Recopilar una amplio abanico de variables que permitan evaluar la usabilidad, cubriendo los principales aspectos que conlleva: eficacia, eficiencia y satisfacción.
3. Evaluar la frecuencia de aparición de las recomendaciones de usabilidad en páginas web donde la accesibilidad es de obligado cumplimiento.
4. Comprobar que las recomendaciones de usabilidad seleccionadas no dependen de la tipología de web.
5. Comprobar que el cumplimiento de la accesibilidad no garantiza la usabilidad de la web.
6. Seleccionar la principales recomendaciones de usabilidad web para su posterior evaluación.
7. Disponer de un conjunto de páginas web que permitan evaluar el efecto de cada recomendación de usabilidad en la interacción del usuario con la web.
8. Seleccionar distintos perfiles de usuario para tener en cuenta el efecto de las capacidades de los usuarios en la interacción con la web y la adecuación de las recomendaciones de usabilidad.
9. Poner a punto un protocolo y un conjunto de variables que permitan utilizar el análisis de la respuesta fisiológica y la mirada para evaluar la usabilidad web.
10. Diseñar y realizar una experimentación con usuarios que permita tener controlado el efecto de las recomendaciones de usabilidad y el perfil de usuario.
11. Analizar el efecto de las recomendaciones en las variables de usabilidad en función del perfil de usuario, permitiendo la validación de las tres hipótesis de partida.

12. Proponer un modelo de usabilidad basado en distintos niveles en función de la procedencia de la información.

3.3. Plan de Trabajo

En la figura 3.1 se muestra el plan de trabajo que se ha seguido para alcanzar cada uno de los objetivos anteriores y poder validar las tres hipótesis de partida. Las secciones de material y métodos, resultados y discusión siguen el orden de tareas y objetivos detallados dicha figura.

El plan de trabajo se agrupa en **4 fases**:

1. Revisión del estado del arte: Recopilar los parámetros y recomendaciones de usabilidad web, así como las distintas aproximaciones y variables para evaluar la usabilidad.
2. Análisis y selección de las recomendaciones de usabilidad web: A partir de las recomendaciones de la anterior fase, realizar un análisis para evaluar su frecuencia de aparición, su dependencia del tipo de web y su relación con el nivel de accesibilidad. Por último, a partir de estos resultados, y teniendo en cuenta su impacto en la usabilidad según bibliografía y experiencia previa, seleccionar el conjunto de recomendaciones de usabilidad a evaluar en la siguiente fase.
3. Diseño de experimentos y experimentación. Diseñar un conjunto de páginas web con las distintas combinaciones de las recomendaciones anteriores y elegir distintos perfiles de usuario para valorar su efecto. Poner a punto un protocolo de experimentación, incluyendo un diseño balanceado y las variables de usabilidad seleccionadas, y refinarlo mediante la realización de un ensayo piloto. Finalmente, realizar una experimentación con 20 sujetos, 10 de cada perfil de usuario, para poder evaluar las tres hipótesis de partida.
4. Procesado y análisis de datos: Procesar los datos, recogidos en la fase de experimentación, para evitar artefactos y ruido asociado a cada variable y adecuarlas al propósito del estudio. Posteriormente, realizar un conjunto de análisis estadísticos que permitan cumplir el objetivo 11 y validar las tres hipótesis de partida.

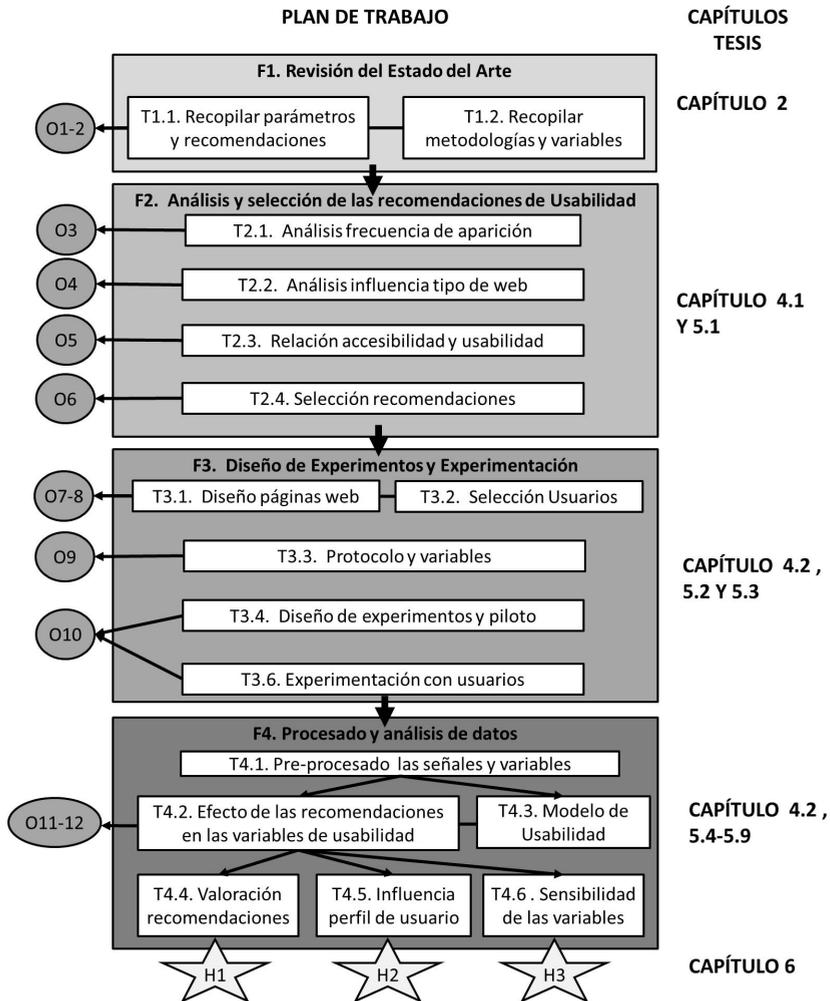


Figura 3.1: Descripción del plan de trabajo. “Ox”: Objetivos; “Hx”: Hipótesis; y “Tx.x”: Tareas. La descripción de tareas esta agrupada por fases y la línea temporal se muestra de forma vertical. En la parte derecha se relaciona cada fase con los capítulos de esta Tesis.

Capítulo 4

Material y métodos

El capítulo 4 describe la metodología y materiales empleados en la presente Tesis para alcanzar los objetivos propuestos en la sección 3.2.

En primer lugar, en la sección 4.1 se presenta la metodología que se ha seguido para cumplir los objetivos 1, 3, 4 y 6, relacionados con la recopilación y selección de las principales recomendaciones de usabilidad a evaluar.

En segundo lugar, en la sección 4.2 se muestra la metodología que se ha seguido, los materiales desarrollados y utilizados, y la experimentación realizada, con el objetivo de evaluar la validez de dichas recomendaciones de usabilidad en función del perfil de usuario y su impacto en las variables de usabilidad, cumpliendo los objetivos 2, 7, 8, 9, 10, 11 y 12.

En concreto, la experimentación que se detalla en dicha sección es la que nos ha permitido valorar las tres hipótesis planteadas al inicio de esta tesis de investigación a través del cumplimiento del objetivo 11.

4.1. Revisión y selección de las principales recomendaciones de usabilidad web

La selección de las recomendaciones de usabilidad se centró en aquellas recomendaciones encontradas en la revisión del estado del arte (objetivo 1) y que aparecieran en sitios web que habían sido previamente evaluados desde el punto de vista de la accesibilidad. Además, los sitios web elegidos debían cubrir una amplia variedad de ámbitos para asegurar la representatividad de los resultados. Por último, el conjunto de recomendaciones de usabilidad web

elegidas debían ser ampliamente reconocidas y que su implementación fuera específica e inequívoca.

4.1.1. Selección de los sitios web a revisar

La selección de los sitios web se limitó al ámbito nacional para evitar la influencia de factores socio-culturales y del idioma. A priori, la muestra se centró en páginas web de Administraciones públicas, ya que son las únicas donde la accesibilidad es de obligado cumplimiento (objetivo 3). Sin embargo, se amplió la muestra para cubrir tanto servicios públicos como privados, desde el ámbito local al nacional, y cerciorarse que las recomendaciones elegidas no dependían de la tipología de web (objetivo 4). La muestra se componía de **cinco tipos** de sitios web:

1. Portales de la Administración del Estado.
2. Páginas web de Universidades.
3. Páginas web de Comunidades Autónomas.
4. Páginas web relacionadas con el ocio y el transporte.
5. Páginas web de ayuntamientos.

Estos grupos, a excepción de los portales de la administración del estado, coinciden con los estudiados por el observatorio de Infoaccesibilidad de **Discapnet** [40], valiéndose así de los resultados y conclusiones obtenidos por dichos **informes en la valoración de la accesibilidad web** de dichas páginas. Éstas se clasificaban en función del nivel de cumplimiento de las directrices de accesibilidad en: no accesibles, WAI-A (cumplimiento de directrices de prioridad 1), WAI-AA (cumplimiento de directrices de prioridad 1 y 2) y WAI-AAA (cumplimiento de directrices de prioridad 1, 2 y 3) .

La muestra final de sitios web estaba compuesta por 126 páginas web (figura 4.1) que se enumeran en el anexo A.

4.1.2. Selección de las recomendaciones de usabilidad web

Para alcanzar el objetivo 1 se realizó una revisión del estado del arte, recopilando diversas guías, buenas prácticas y artículos científico-técnicos con recomendaciones para mejorar la usabilidad web, que consisten en definir la presencia/ausencia de las características que deben cumplir los distintos parámetros o elementos de la web.

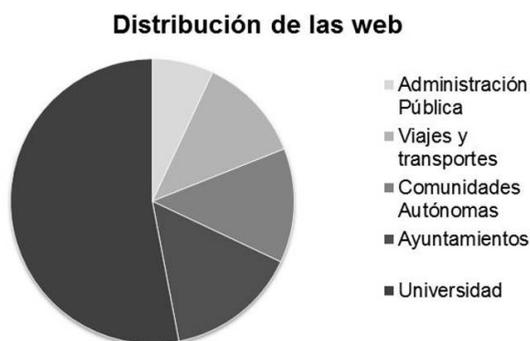


Figura 4.1: Distribución de los 126 sitios web seleccionados.

Para facilitar la comprensión del resto del documento al lector, es importante clarificar la diferencia entre los dos conceptos anteriores: **parámetro o elemento web y recomendación o pauta de usabilidad web**. Un parámetro web es una componente de la web o un aspecto del diseño de ésta, y la recomendación se centra en las características que debe tener dicho parámetro para mejorar la usabilidad. Por ejemplo, un elemento o parámetro es el menú de navegación o el fondo del layout (diseño o estructura de la página), y las recomendaciones de usabilidad serían que el menú estuviera a la izquierda y tuviera menos de 5 niveles, y que no se utilizaran imágenes de fondo sobre las que colocar texto, respectivamente.

En esta primera recopilación, se tuvo en cuenta que las recomendaciones fueran específicas y se pudieran detectar y evaluar objetivamente en los sitios web, dejando de lado recomendaciones como “la estructura de la web debe ser clara” o “los menús deben ser comprensibles”. Finalmente, se extrajeron **17 recomendaciones** de entre las principales que rigen la usabilidad web, asociadas a los distintos parámetros web. En el anexo B se describen en detalle dichas recomendaciones y se muestran ejemplos gráficos.

A continuación, se realizó un **análisis de la frecuencia de aparición** de las recomendaciones de usabilidad en la muestra de sitios web para realizar una selección de las recomendaciones web más implantadas (objetivo 3). Se eliminaron, para el siguiente análisis, aquellas recomendaciones web que no aparecieran prácticamente o que aparecieran en la mayoría de las web, ya que se consideraban constantes y podían afectar a los resultados del análisis, quedando finalmente 11 recomendaciones.

A partir del conjunto reducido de recomendaciones de usabilidad, se realizó un análisis de contingencia para comprobar si existía alguna **relación entre**

las recomendaciones de usabilidad y la tipología de web (objetivo 4); y para comprobar si existía alguna relación entre **el nivel de accesibilidad** y la presencia de las recomendaciones de usabilidad en cada una de las web (objetivo 5). En ambos casos, se realizó una descripción de la distribución, se analizó la significación de la relación ($p < 0,05$) y se calculó la “V” de Cramer (indica el tamaño de la relación: inexistente, si “V” es menor de 0,1; baja relación si “V” está entre 0,1 y 0,3; relación moderada, si “V” está entre 0,3 y 0,5; y alta relación si “V” es mayor de 0,5).

Para las valoraciones de accesibilidad, se utilizaron los informes realizados entre 2005 y 2006 por el Observatorio de Infoaccesibilidad de Discapnet sobre la accesibilidad de diversos portales web [40]. En dichos informes, se dispone de una valoración de la accesibilidad de las 126 páginas web escogidas (anexo A), a excepción de las relacionadas con la Administración del Estado. Los resultados que se muestran se centran en las páginas que disponen de una nota de accesibilidad por parte de Discapnet. Finalmente, la muestra se redujo a 114 páginas web.

Por último, para seleccionar las recomendaciones de usabilidad, que se iban a validar en la fase de experimentación (objetivo 6), se tuvo en cuenta su presencia en las web analizadas, su importancia/impacto en la usabilidad, su facilidad de implementación y control inequívoco, y que cubrieran, en conjunto, el máximo abanico de aspectos relacionados con la usabilidad.

Se escogieron **siete recomendaciones de usabilidad**: P1: Disponer de la opción “Ir a inicio”; P2: Disponer de la opción “Ir arriba”; P3: Disponer de “Mapa web”; P4: Disponer de la funcionalidad “Señalar y hacer clic”; P5: No utilizar “Imagen de fondo”; P6: Disponer de la funcionalidad “Migas” (Información contextual o “breadcrumb”); y P7: Disponer de un menú adecuado.

En la sección 5.1 se describen las siete recomendaciones y se muestra su implementación en el conjunto de estilos web desarrollados. Además, en el anexo B se muestran ejemplos gráficos de cada recomendación sobre sitios web reales.

4.2. Validación recomendaciones y variables de usabilidad

Esta sección explica la metodología y los pasos que se han seguido para cumplir los objetivos 2, 7, 8, 9, 10 y 12, y poner a punto un experimentación con usuarios, objetivo 11, para **validar las tres hipótesis** definidas al inicio de esta Tesis.

En la sección 4.2.1 se muestra el proceso seguido para disponer de un conjunto de páginas web que permitan evaluar el efecto de cada recomendación de usabilidad (objetivo 7), así como las páginas web finalmente desarrolladas.

En la sección 4.2.2 se describe el proceso seguido para elegir distintos perfiles de usuario (objetivo 8), permitiendo en cuenta el efecto de la interacción de las recomendaciones de usabilidad y las capacidades de los usuarios en la usabilidad de la web. Para ello, se realizó un diseño de experimentos balanceado, tal y como se muestra en la sección 4.2.3.

En la sección 4.2.4 se detalla el protocolo de ensayo (objetivo 9) que se ha desarrollado para llevar a cabo la experimentación con sujetos.

En la sección 4.2.5 se enumeran las variables de usabilidad que se han elegido para evaluar la eficacia, eficiencia y satisfacción (objetivo 9). Estas variables abarcan desde variables tradicionales subjetivas y objetivas, hasta variables innovadoras como la respuesta fisiológica y el seguimiento de la mirada. Además, se detalla el equipamiento utilizado para su adquisición, así como el procesamiento realizado para adecuar y normalizar las variables antes del tratamiento estadístico.

A continuación, en la sección 4.2.6 se explica el piloto realizado para refinar el protocolo anterior y realizar los últimos ajustes en las variables de usabilidad.

Los pasos anteriores permitieron diseñar y realizar una experimentación controlada (objetivo 10).

Por último, la sección 4.2.7 se centra en el tratamiento estadístico que se ha realizado para validar las tres hipótesis a través del cumplimiento del objetivo 11.

4.2.1. Definición y desarrollo de las páginas web

La primera opción para evaluar la influencia de las recomendaciones web fue utilizar sitios **web reales**. Sin embargo, esto dificultaba disponer de un experimento controlado en el que se pudiera analizar el efecto de cada recomendación de forma independiente.

Además, otros factores como el tipo de contenido, la publicidad o la organización de la información serían imposibles de controlar, limitando la validez del estudio. Finalmente, se decidió **desarrollar un conjunto de sitios web** (objetivo 7) para evaluar la influencia de las recomendaciones de usabilidad.

Por ello, se optó por realizar un diseño ortogonal para minimizar el número de desarrollos de páginas web necesarios para poder valorar los efectos principales de las recomendaciones de usabilidad. De este manera, se ha podido estudiar la influencia de las recomendaciones de usabilidad, por separado o

en grupo, sobre el usuario sin influencias de otros elementos secundarios que poseen las páginas web comerciales.

4.2.1.1. Diseño ortogonal

A partir de las recomendaciones web seleccionadas, se realizó un diseño factorial para generar distintos estilos web. Esta aproximación permite disponer de diversas páginas web con el mismo contenido, pero con cambios en la presencia o ausencia de las recomendaciones de usabilidad. De este modo, se dispone de un experimento controlado en el que se puede analizar el efecto de cada recomendación de forma independiente.

Todas las recomendaciones web son factores de dos niveles, que estén presentes o no en la web, a excepción del tipo de menú que dispone de cinco niveles en función de la presencia de menú en la izquierda y/o superior, y el número de niveles de cada menú (tabla 4.1b). Realizar un diseño factorial completo conllevaría del desarrollo de 320 ($2^6 \cdot 5$) conjuntos de estilos web, aproximación inviable por costes y tiempo.

Por ello, se optó por realizar un diseño factorial con una distribución ortogonal, reduciendo la anterior cifra a un total de **16 estilos web** (tabla 4.1a), mediante un diseño D-óptimo basado en el algoritmo de Fedorov [232]. Este diseño permitió alcanzar el objetivo 12 sin la necesidad de disponer de un número inalcanzable de páginas web. En la sección 4.2.1.2 se muestran algunos ejemplos de los distintos conjuntos de estilos web desarrollados.

4.2.1.2. Páginas web desarrolladas

A partir del diseño ortogonal se desarrollaron 16 estilos CSS (Cascading Style Sheets), cumpliendo con el objetivo 7, que se aplicaron a una página web con un contenido común. En concreto, se organizó la información de la guía Integración sobre accesibilidad [233]. En el anexo D se muestra un ejemplo del código desarrollado para generar uno de los 16 estilos.

En la figura 4.2 se muestra el mapa web para aportar una visión general de la **estructura de la web** y los títulos de los apartados para facilitar la comprensión del conjunto de tareas que se han definido.

En la figura 4.3 se muestran algunos ejemplos del resultado final de aplicar los distintos estilos CSS a la página web. Se resalta la presencia de recomendaciones como migas, ir a inicio, ir arriba o el mapa web. Además, se muestran las diferencias de utilizar una imagen de fondo. Por último, se muestran los distintos tipos de menús y el efecto de señalar y hacer clic.

Estilos	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
1	X	-	X	-	X	-	M1
2	X	-	X	-	-	X	M4
3	-	-	X	X	X	-	M4
4	-	-	X	X	-	X	M3
5	X	X	X	X	X	X	M2
6	X	-	-	X	X	X	M2
7	-	X	X	-	-	-	M2
8	-	X	X	-	X	X	M5
9	X	X	-	-	-	X	M4
10	-	X	X	X	-	-	M3
11	-	-	-	-	X	X	M3
12	X	X	-	-	X	-	M3
13	-	X	-	X	-	X	M1
14	X	X	-	X	X	-	M4
15	-	-	-	X	-	-	M5
16	X	-	-	-	-	-	M2

(a) Distribución estilos

Código	M1	M2	M3	M4	M5
Niveles superior	2	-	1	-	2
Niveles izquierda	-	1	1	2	2

(b) Tipo de menú

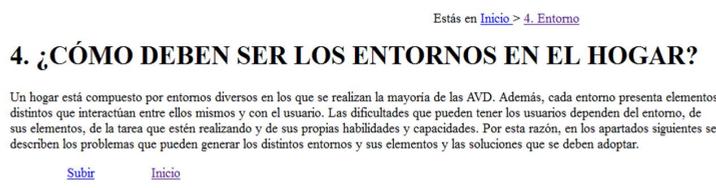
Tabla 4.1: Distribución de los estilos web. Presencia (X) o ausencia (-) de las recomendaciones de usabilidad web: “Ir a la página principal” (P1), “Ir arriba” (P2), “Mapa Web” (P3), “Señalar y hacer clic” (P4), “Imagen de fondo” (P5), “Migas” (P6), y tipo de menú (P7). Codificación del tipo de menú en función de la presencia o ausencia (-) de menú superior e izquierdo, y el número de niveles (1-2) del menú superior e inferior.

- 1. Hogar Funcional**
 - 1.1. Espacios
 - 1.2. Elementos
 - 1.3. Accesibilidad
 - 1.4. Hogar
- 2. Personas Mayores**
 - 2.1. Sociodemográfica
 - 2.1.1. Edad
 - 2.1.2. Estado civil
 - 2.1.3. Estado de salud
 - 2.1.4. Situación económica
 - 2.1.5. Vivienda
 - 2.1.6. Nivel educativo
 - 2.2. Funcional
 - 2.2.1. Características y capacidades físicas
 - 2.2.2. Capacidades sensoriales
 - 2.2.3. Capacidades cognitivas
- 3. Problemas y Riesgos**
 - 3.1. Personas
 - 3.2. Importancia
 - 3.3. Causas
 - 3.4. Consecuencias
 - 3.5. Reducción de riesgos
- 4. Entornos**
 - 4.1. General
 - 4.2. Cocina
 - 4.2.1. Elementos
 - 4.2.2. Recomendaciones generales
 - 4.3. Baño
 - 4.3.1. Elementos
 - 4.3.2. Recomendaciones generales
 - 4.4. Salón
 - 4.4.1. Elementos
 - 4.4.2. Recomendaciones generales
 - 4.5. Dormitorio
 - 4.5.1. Elementos
 - 4.5.2. Recomendaciones generales
 - 4.6. Acceso
 - 4.6.1. Elementos
 - 4.6.2. Recomendaciones generales
 - 4.7. Exterior
- 5. Productos**
 - 5.1. Mobiliario
 - 5.2. Electrodomésticos
 - 5.3. Pavimento
- 6. Ejemplos Integración**
 - 6.1. Cocina
 - 6.2. Baño
 - 6.3. Pasillo
 - 6.4. Salón
 - 6.5. Acceso
 - 6.6. Inteligencia ambiental
 - 6.7. Teleasistencia
 - 6.7.1. Atención del entorno
 - 6.7.2. Servicios relacionados con la medicina
 - 6.7.3. Cuidados personales
 - 6.7.4. Cuidados de carácter social-asistencial

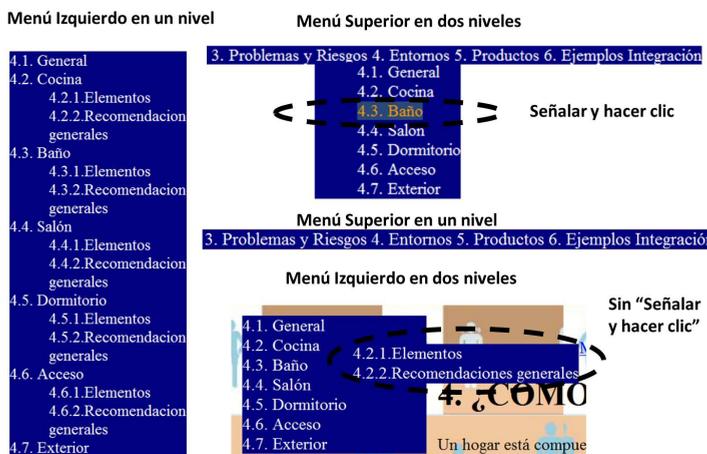
Figura 4.2: Mapa web de las web desarrolladas.



(a) Opciones “Ir a la página principal” (P1), “Ir arriba” (P2), “Mapa Web” (P3) y “Migas” (P6). Además, utiliza una “Imagen de fondo” (P5).



(b) Sin “imagen de fondo” (P5)



(c) Distintos tipos de “Menú” (P7) y uso de “Señalar y hacer clic” (P4)

Figura 4.3: Ejemplos de las distintas secciones de la web y muestras de los estilos CSS empleados.

4.2.2. Selección de perfiles de usuario

Para cumplir con el objetivo 8, se acotó la muestra a **personas con discapacidad física**. Los motivos para esta selección fueron los siguientes:

1. Las limitaciones de motricidad fina, las situaciones de movilidad reducida y los problemas cognitivos tienen una alta incidencia e impacto en las personas mayores y personas con discapacidad. Situación que limita considerablemente su autonomía en la realización de las actividades de la vida diaria.
2. La inclusión de usuarios con limitaciones cognitivas podría dificultar la extracción de conclusiones, ya que no sólo se verían afectados por las propias recomendaciones web, sino que también entraría en juego la comprensión del contenido del sitio web.
3. Las recomendaciones de usabilidad centradas en discapacidad cognitiva se limitan, en gran parte de las ocasiones, a pautas generales difíciles de implementar y tener controladas, como el “lenguaje debe ser claro y comprensible”. En cambio, las recomendaciones de usabilidad para los problemas de motricidad fina son más específicas, como “el tamaño de los elementos activos debe ser superior a 20 mm” o “disponer de un botón para ir a la parte superior de la web con un solo clic”.
4. Las personas mayores son un grupo muy heterogéneo donde sería difícil controlar que no existiera variabilidad asociada al efecto de otras capacidades como la visión o la comprensión, o incluso el nivel formativo y la experiencia en el uso de las TIC.
5. Las personas con movilidad reducida, por ejemplo usuarios de sillas de ruedas, pueden acceder a una amplia servicios a través de la web sin tener que salir del domicilio, evitando largos desplazamientos y salvando las frecuentes barreras arquitectónicas y limitaciones de accesibilidad de los entornos.

Para analizar la validez de las recomendaciones de usabilidad en función de las capacidades de los usuarios, se establecieron dos grupos. El primer grupo estaba formado por **10 personas con movilidad reducida** y que tuvieran afectada la motricidad fina en los miembros superiores, si bien, debían ser capaces de manejar un ratón convencional sin adaptaciones. Esta última condición se estableció para evitar efectos incontrolados durante la experimentación del uso de punteros alternativos como sistemas de barrido y pulsadores

o combinaciones de joystick con ratón. El segundo grupo fue un grupo control formado por **10 sujetos sin limitaciones funcionales**.

Ambos grupos debían estar balanceados en género (50 % hombres y 50 % mujeres) y todos los sujetos debían tener experiencia en la navegación web, para evitar el sesgo de ambos factores.

4.2.3. Diseño de experimentos

A pesar de haber reducido el número de estilos web a 16, no es viable plantear una experimentación en la que el usuario probara todos los estilos web, tanto por tiempo y costes, como para evitar fatiga y aburrimiento en el sujeto de ensayo. Por ello, se realizó una distribución de los 16 estilos web entre todos los usuarios mediante una **división óptima por bloques**, siguiendo el algoritmo de Goos y Vandebroek [234]. Esto asegura que todos los perfiles interaccionan con las distintas combinaciones de las recomendaciones de usabilidad.

En el anexo E se muestra como quedaron finalmente distribuidos los estilos web por tarea y por usuario. Este diseño de experimentos, junto con el diseño ortogonal de las páginas web, permitió alcanzar el objetivo 10.

4.2.4. Protocolo de ensayo

Para definir el protocolo de ensayo (objetivo 9) se tuvieron en cuenta las siguientes **necesidades** para la experimentación:

- Preparar informe de consentimiento informado y asegurar el cumplimiento de los principios éticos de experimentación.
- Instrumentación correcta del usuario.
- Minimizar la influencia del experimentador.
- Limitar los ensayos a 1 hora para evitar el cansancio del usuario.
- Realizar diversas repeticiones y sesiones con cada usuario para evaluar los procesos de adaptación y aprendizaje de los usuarios.
- Definir tareas de búsqueda con objetivos relacionados con las distintas secciones de la web. Éstas debían tener en cuenta las diferencias de búsqueda de texto e imágenes, así como la navegación entre distintas secciones y a lo largo de la misma sección de la web (tabla 4.2).

- Disponer del equipamiento y materiales adecuados para el registro de las variables de usabilidad.

A continuación, se presenta un breve resumen del protocolo de experimentación.

Antes de empezar el ensayo, el usuario firmaba el consentimiento informado (anexo F). A continuación, se le llevaba a una habitación confortable, con luz suave que permitía una lectura adecuada y que al mismo tiempo evitaba los reflejos y cualquier distracción del entorno. El usuario se sentaba enfrente del ordenador y recibía una clara explicación del objetivo de la experimentación y de las tareas a realizar (tabla 4.2). El experimentador se situaba siempre detrás del usuario para minimizar cualquier interferencia durante la interacción del usuario.

Con el usuario sentado, se procedía a su instrumentación, para el registro de las señales fisiológicas (ver sección 4.2.5.3), y a la calibración del sistema de registro de la mirada, para optimizar su precisión (ver sección 4.2.5.2).

Se le pedía al usuario que estuviera cómodo y en reposo durante 30 segundos para conseguir que estuviera relajado. Durante este tiempo, la pantalla estaba totalmente en negro y no había ningún tipo de estímulo visual ni auditivo para poder registrar el estado basal de cada variable fisiológica.

El usuario tenía que realizar tres tareas, cada una de las cuáles se dividía en tres objetivos y tenían un estilo web distinto (anexo E). Las tareas consistían en realizar búsquedas en el sitio web, diferenciándose dos tipos: búsqueda de texto y búsqueda de imágenes (tabla 4.2).

Los usuarios disponían de dos minutos como máximo para alcanzar cada objetivo. En caso de que el usuario no fuera capaz de alcanzar el objetivo en el tiempo marcado, se le explicaban los pasos que tenía que haber seguido para alcanzar el objetivo y, a continuación, empezaba el siguiente objetivo. El conjunto de tareas se repetía 3 veces en cada sesión.

Finalmente, se le retiraban los electrodos al usuario y se le compensaba por su participación en el ensayo.

El proceso detallado anteriormente se repetía en cada una de las 3 sesiones, en días distintos, a las que acudía cada usuario. En la primera y tercera sesión, el usuario completaba un cuestionario (anexo C) para evaluar de forma subjetiva un conjunto de aspectos relacionados con la usabilidad de cada una de las tareas

T	O	Descripción	Tipo	Sec.
1	1.1	Encontrar la figura 11 “Gráfico de gastos medios de la vivienda considerada como principal, por tramos de ingresos del hogar (€)”.	g	2.1.5
	1.2	Encontrar el siguiente párrafo “La atención selectiva es la función de atención más básica ya que, del efecto negativo de la información irrelevante en el contexto de tareas de memorización, juicios de frecuencia y resolución de problemas”.	t	2.2.3
	1.3	Encontrar el siguiente párrafo “Según los datos del Instituto Nacional de Estadística del Padrón de Habitantes de 2005, las personas de 65 y más años suponen un 16,6 % de la población total de nuestro país” . Para finalizar el objetivo volver a la página de inicio.	t	2.1.1
2	2.1	Encontrar la figura 29 “Imagen de un elevador especial”.	g	4.6.1
	2.2	Encontrar el siguiente párrafo “La mayoría de las cocinas están compuestas al menos por una cocina de gas o una vitrocerámica...”.	t	4.2.1
	2.3	Encontrar el siguiente párrafo “En el exterior el tipo de pavimento es muy importante para conseguir una adecuada accesibilidad.” Para finalizar el objetivo, ir a la Sección 6 “Ejemplos de integración”.	t	4.7
3	3.1	Encontrar la figura 36 “Sistema holográfico de inteligencia ambiental”.	g	6.6
	3.2	Localizar la figura 5 “Ejemplo de diseño universal. Mando universal “Sicare light” que permite controlar mediante voz, luces, persianas, llamadas y control de tv/radio”.	g	1.3
	3.3	Localizar la figura 22 “Lesiones características de los mayores de 65 años”.	g	3.4

Tabla 4.2: Descripción de las distintas tareas (T) y objetivos (O) a realizar por los usuarios. Hay dos tipos de búsquedas: “Búsqueda de un elemento gráfico o una imagen” (g) y “Búsqueda de un párrafo de texto” (t). Como se observa, se fuerza a los usuarios a navegar a lo largo de toda la web y moverse entre secciones (Sec.) y niveles de las secciones. La tarea 1 se centra en la sección 2 que tiene dos apartados y cada uno se divide en cinco (figura 4.2). La tarea 2 se centra en la sección 4 que tiene siete apartados y cada subapartado se divide en dos más. La tarea 3 pasa entre las secciones restantes: 1, 3, y 6 .

4.2.5. Selección del equipamiento, procesado de señales y extracción de variables de usabilidad

Como se comenta en la sección 2.3, hay diferentes formas para evaluar la usabilidad de una web. Según la definición dada por la norma ISO 9241-11 [58], esta evaluación debe incluir aspectos de eficacia, eficiencia y satisfacción.

Por otra parte, si se organiza dicha información en función de su procedencia y el tipo de medidas o variables, se pueden definir **cuatro niveles**: empezando por la voz directa del usuario, pasando por el resultado de la acción y acabando en los procesos internos o reacciones que se generan en el propio usuario (figura 4.4):

- Nivel 1: Está formado por la opinión del usuario acerca de aspectos generales de la web.
- Nivel 2: Está formado por la opinión del usuario pero en un nivel mayor de profundidad y detalle acerca de aspectos específicos de la web. Esto obliga al usuario a reflexionar en mayor medida acerca de sus impresiones.
- Nivel 3: Está formado por la consecuencia final de la interacción del usuario con la web, es decir el resultado que se produce por dicha interacción.
- Nivel 4: Está formado por las reacciones y comportamientos que se generan en el usuario al interactuar con la web.

Los Niveles 1 y 2 están asociados a la opinión del usuario, siendo por tanto, variables subjetivas. Aunque se suelen utilizar para evaluar el nivel de satisfacción, también se puede utilizar para obtener información sobre la eficiencia e incluso sobre la eficacia.

Sin embargo, este enfoque presenta algunos problemas. Por una parte, es necesario realizar preguntas mientras el usuario realiza la tarea, lo que puede modificar su comportamiento. Por otra, el uso de cuestionarios presenta limitaciones a la hora de verbalizar percepciones. Además, es susceptible de sesgos por parte del entrevistador o el propio usuario, debido a que requiere preguntar continuamente al usuario e interferir en su interacción.

Por estos motivos, se plantea la necesidad de incorporar otras medidas de tipo objetivo, que permitan una mejor medida de la eficiencia y la eficacia. Dentro de estas medidas se encuentra la tasa de éxito en la finalización de la tarea, el número de errores o el tiempo empleado; variables que se enmarcarían en el Nivel 3.

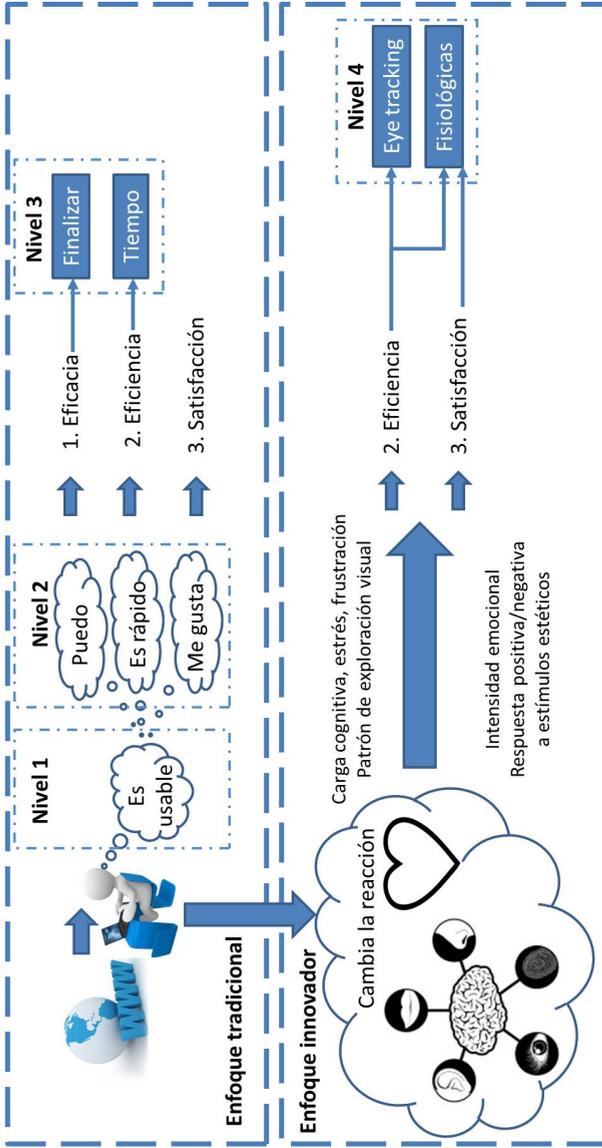


Figura 4.4: Enfoques para analizar la interacción del usuario con la web a partir de distintas variables de usabilidad organizado en 4 niveles.

Los Niveles del 1 al 3, corresponden al conjunto de **aproximaciones tradicionales** que se utilizan para evaluar la usabilidad que cubren desde cuestionarios, “thinking aloud” y entrevistas (Nivel 1 y 2), hasta la medida de tasas de aciertos, errores y tiempo empleado (Nivel 3).

No obstante, otras metodologías como la observación se situarían en un nivel intermedio entre el Nivel 2 y 3, ya que, si bien aportan información subjetiva y/o cualitativa, no provendrían directamente del usuario, sino que serían una consecuencia de la interacción detectada por el propio experimentador.

A pesar de que estas aproximaciones están ampliamente extendidas, en ocasiones carecen de la suficiente resolución para obtener información sobre diferencias sutiles. Además, no aportan información sobre los mecanismos internos que desembocan en dichos resultados.

Estos problemas se pueden solucionar si se desciende al siguiente nivel, Nivel 4, mediante el uso de **aproximaciones innovadoras**, ya que se puede obtener información, objetiva y cuantitativa, acerca de las reacciones que se producen en el usuario, tanto desde la perspectiva del estado emocional como del comportamiento del usuario. Además, el análisis del estado emocional puede proporcionar información objetiva sobre la satisfacción del usuario, objetivo que no se consigue con ninguna de las variables de los anteriores niveles.

A partir de la revisión del estado del arte, se ha decidido utilizar las siguientes metodologías para extraer variables en cada uno de los niveles que aporten información sobre la **eficacia, eficiencia y satisfacción**:

- Eficacia: Se puede evaluar a través de la finalización con éxito de la tarea.
- Eficiencia: Se puede medir preguntando directamente al usuario; mediante el tiempo empleado para finalizar la tarea; mediante variables relacionadas con el estrés o la carga cognitiva como alguna de las variables extraídas análisis de la respuesta fisiológica; y/o mediante variables relacionadas con la eficiencia de la exploración visual o el tiempo de búsqueda o procesado, como las variables asociadas al análisis del seguimiento de la mirada.
- Satisfacción: Se puede medir mediante cuestionarios y/o mediante la intensidad y valencia emocional a través del análisis de la respuesta fisiológica.

En las siguientes subsecciones, se justifican y describen las variables que se han seleccionado para valorar la usabilidad durante la experimentación con usuarios, correspondiente al objetivo 9. Además, se describe el equipamiento

utilizado para registrar dichas variables, el procesado y los algoritmos aplicados para reducir los artefactos y ruidos de las distintas señales, así como las normalizaciones aplicadas.

4.2.5.1. Variables tradicionales

A partir de la revisión del estado del arte, se escogieron un grupo de variables que permitieran evaluar los tres conceptos de la usabilidad (eficacia, eficiencia y satisfacción) y que estuvieran ampliamente extendidas en las pruebas de usabilidad con usuarios. Las **variables** que se seleccionaron fueron:

- Finalización de la tarea: Es una variable que mide la eficacia. Se trata de una variable dicotómica según el sujeto sea capaz o no de finalizar la tarea.
- Duración de la tarea: Es una variable que mide la eficiencia. Se trata de una variable continua que mide el tiempo empleado por el usuario para finalizar una tarea o alcanzar el objetivo marcado.
- Opinión del usuario: Son variables subjetivas que miden la satisfacción del usuario. No obstante, también se pueden utilizar para medir aspectos de eficacia y eficiencia, extrayendo información sobre la percepción del usuario acerca de la adecuación general de la web y/o de sus distintos elementos.

A continuación, se muestra el procedimiento seguido para registrar estas variables.

En primer lugar, se anotó la finalización o no de las tareas, y se midió el tiempo necesario para finalizar la tarea con un cronómetro. Tras realizar un análisis de la variable asociada al tiempo necesario para finalizar la tarea, se observó que no seguía una distribución normal, debido al límite máximo fijado de 120 segundos. Para conseguir esta distribución normal, y poder realizar un análisis de la varianza, tal y como se detalla en la sección 4.2.7, se sumó a cada valor un componente aleatorio entre 0 y 1 y se le aplicó una normalización logarítmica.

En segundo lugar, se registró la opinión de los usuarios utilizando un cuestionario de usabilidad que se componía de 20 preguntas específicas y dos generales sobre usabilidad y percepción estética (anexo C). Las preguntas tenían una escala Likert de cinco niveles: "Totalmente en desacuerdo", "Más bien en desacuerdo", "Indiferente", "Más bien en acuerdo" y "Totalmente de acuerdo". La excepción era la pregunta sobre la valoración global de la web (pregunta 21), que se evaluaba de 0 a 10.

A continuación, dado que las variables asociadas a las preguntas del cuestionario no eran independientes, la información obtenida se redujo a un número menor de variables independientes mediante un **análisis de componentes principales** (ACP). La metodología empleada se detalla en la sección 4.2.7 y los resultados de la agrupación en cinco componentes principales se muestran en la sección 5.4.2.

4.2.5.2. Variables asociadas al seguimiento de la mirada

A partir de la revisión del estado del arte, se eligieron las siguientes **variables** asociadas al seguimiento de la mirada más adecuadas para la valoración de la usabilidad, teniendo en cuenta las limitaciones del equipamiento:

- Número total de fijaciones y número de fijaciones por segundo. Son unas variables que miden la eficiencia, en concreto, la eficiencia en la búsqueda. La primera consiste en el número de fijaciones empleadas por el usuario para alcanzar un objetivo. La segunda consiste en el mismo recuento normalizado por el tiempo empleado para alcanzar el objetivo.
- Amplitud de los sacádicos. Es una variable que mide la eficiencia, en concreto, se relaciona con la presencia de pistas significativas o ayudas a la navegación para el usuario. Se trata de una variable que promedia la distancia en píxeles desde el inicio hasta el final de cada sacádico.
- Ratio sacádico/fijación: Es una variable que mide la eficiencia, en concreto, se relaciona con la necesidad de procesado y de búsqueda. Se trata de una variable que promedia el ratio entre el tiempo empleado para cada sacádico y el tiempo empleado para cada fijación.

A continuación, se muestra el procedimiento seguido para registrar estas variables.

Se ha utilizado un sistema que registra la trayectoria de la mirada a través de la señal recibida, gracias al reflejo pupilar de luz infrarroja de forma no intrusiva: **Tobii T60**®. Este sistema permite el registro de la trayectoria de la mirada sobre un monitor, suficiente para el registro de la interacción con la web.

El equipo Eye-tracker Tobii T60 está integrado dentro de un monitor TFT de 17 " con una resolución de 1280 píxeles por 1024 píxeles. El sistema proporciona las coordenadas brutas (x, y) de la mirada sobre la pantalla en cada instante.

La posición del ojo se extrae con una precisión de 0,5 grados. Dicha precisión en los ejes "x" e "y" depende de la distancia entre el usuario y el monitor

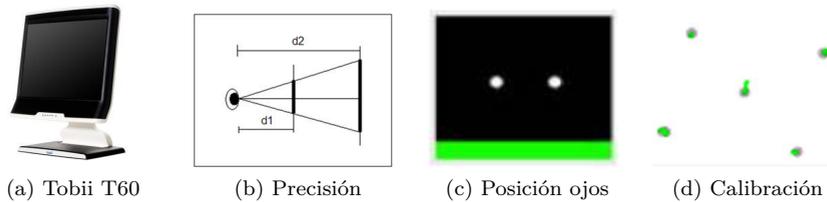


Figura 4.5: Sistema de registro de la mirada, nivel de precisión en función de la distancia, y proceso de calibración del Tobii T60 mediante detección de la posición de los ojos y calibración de la pantalla.

(figura 4.5b). A mayor distancia de separación con el monitor, mayor es la zona en la que puede estar dirigiéndose la mirada, disminuyendo precisión en el cálculo de la posición. En nuestro caso, se considera la distancia normal de interacción con un ordenador, entre 40 cm y 50 cm.

Se utilizó una **frecuencia de muestreo de 60 Hz** con una latencia de 33 ms. Este aspecto es de gran importancia, ya que para el registro en detalle de las trayectorias de los sacádicos y microsacádicos, es necesario disponer de una frecuencia de muestreo considerablemente superior, al menos de 120 Hz.

Antes de empezar el ensayo, se calibraba el sistema para cada usuario. En primer lugar, se comprobaba que los ojos quedaban dentro del alcance del sistema infrarrojos (figura 4.5c), por si el usuario estaba demasiado lejos de la pantalla y era necesario regular la silla en altura; y en segundo lugar, se calibraban las cuatro esquinas de la pantalla y el centro (figura 4.5d).

Durante la prueba, algunos de los datos se perdían o no eran válidos, debido a los movimientos del usuario o porque la mirada del usuario se encontraba lejos de la pantalla. Por ello, se realizó un procesado para eliminar dichos valores antes de analizar los datos.

A continuación, se definieron los valores de radio y tiempo que debe permanecer la mirada en una zona para considerar que ha ocurrido una fijación. Se seleccionaron dos conjuntos de valores distintos en función del tamaño del objetivo asociado a cada tarea:

- Búsqueda de imágenes: Radio de 50 píxeles y una duración de 200 ms.
- Búsqueda de texto: Radio de 20 píxeles y una duración de 40 ms.

Una vez definidas las fijaciones y sacádicos, se extrajeron las medias a lo largo de la tarea de las **variables** descritas anteriormente:

- Número total de fijaciones: Número de fijaciones a lo largo de la tarea.
- Número de fijaciones por segundo: Número de fijaciones a lo largo de la tarea dividido por la duración de la tarea.
- Amplitud de los sacádicos: Distancia en píxeles desde el inicio hasta el final del sacádico.
- Ratio sacádico/fijación: Ratio entre la duración de los sacádicos y la duración de las fijaciones consecutivas.

4.2.5.3. Variables asociadas a la respuesta fisiológica

A partir de la revisión del estado del arte, se decidió escoger un grupo de variables que aportaran información sobre el nivel de intensidad y valencia emocional. Además, debían haber sido utilizadas para evaluar aspectos de carga cognitiva, satisfacción y frustración en la interacción con interfaces, para poder aportar información sobre la eficiencia y la satisfacción. Por último, se descartaron las señales fisiológicas que necesitaran de instrumentación muy invasiva o que fueran especialmente sensibles a artefactos, como las señales de electroencefalografía. Las **variables** elegidas fueron:

- Conductividad de la piel (GSR): La respuesta fásica de la GSR está relacionada directamente con el nivel de intensidad emocional como respuesta a un estímulo concreto. Además, se relaciona con altos niveles de carga cognitiva o situaciones de estrés [187].
- Variabilidad del ritmo cardíaco (HRV): El nivel de variabilidad está relacionado inversamente con el nivel de intensidad emocional. Además, se relaciona con altos niveles de carga cognitiva y física [171, 172].
- Electromiografía sobre el músculo corrugador superciliar (EMGc): Su amplitud está relacionada con valencias negativas de la emoción. Además, también se relaciona con situaciones de frustración durante la interacción con interfaces [188].
- Electromiografía sobre el músculo zigomático mayor (EMGz): Su amplitud está relacionada con valencias positivas de la emoción. Además, también se relaciona con situaciones de satisfacción durante la interacción con interfaces [155, 156, 157].

Se utilizó el **sistema de registro Varioport** (Becker Meditec™, Karlsruhe, Germany) para la adquisición de las siguientes señales fisiológicas: electromiografía facial, conductividad de la piel y electrocardiografía. A continuación,

se describen las características técnicas de las señales proporcionadas por el sistema:

- ECG: Dispone de un factor de amplificación de $214 \pm 2\%$, un rango de entrada de $\pm 5,8$ mV y una resolución de $0,18$ $\mu\text{V/bit}$ (con 16 bits del conversor AD).
- GSR: Dispone de un rango de entrada de 0 a 70 $\mu\text{Siemens}$ y una resolución de $0,001$ $\mu\text{Siemens/bit}$ (con 16 bits del conversor AD) .
- EMG: Los amplificadores EMG están ajustados para medidas faciales de baja amplitud. Dispone de un factor de amplificación de $4899 \pm 2\%$, rango de entrada de ± 255 μV y una resolución de $0,008$ $\mu\text{V/bit}$ (con 16 bits de conversor AD).

A priori, la **frecuencia de muestreo** debe ser al menos el doble del ancho de banda de la señal, tal y como se define en el Teorema de Nyquist [235]. La señal de EMG tienen un ancho de banda de 500 Hz, la de ECG de 50 Hz y la de GSR de 5 Hz. En nuestro estudio, sin embargo, no se pretende registrar la señal bruta de la EMG sino obtener la envolvente de la señal, la cual da una medida de su amplitud. Diferentes estudios muestran que es suficiente registrar a 500 Hz si se quiere obtener la envolvente [236, 237], que es la máxima frecuencia de muestreo que permite el equipo utilizado.

Finalmente, se utilizaron unas frecuencias de muestreo de 500 Hz, 63 Hz y 250 Hz, para la EMG, ECG y GSR respectivamente.

A continuación, se muestra la **instrumentación** realizada para obtener cada una de las señales fisiológicas:

1. Colocar los electrodos de ECG (figura 4.6b) siguiendo la distribución del triángulo de Einthoven [238].
2. Colocar los electrodos de EMG sobre el músculo corrugador superciliar (figura 4.6e) y el músculo zigomático mayor (figura 4.6d) en el lado derecho del rostro.
3. Colocar los electrodos de GSR (figura 4.6c) en la palma de la mano no dominante, entre el cuarto y el quinto dedo [82], para no influir en el manejo del ratón.

Con independencia del tipo de señal, es necesario adecuar la piel para reducir artefactos. Por ello, se afeitaba la zona, en caso de ser necesario, se limpiaba la piel con alcohol y se dejaba secar antes de la colocación de los electrodos.

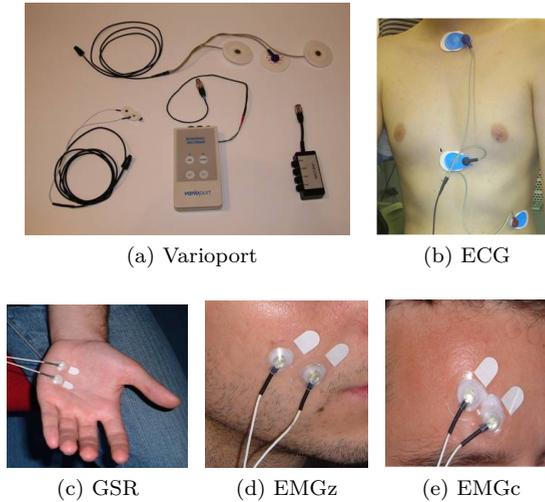


Figura 4.6: Colocación de los electrodos para registrar las señales fisiológicas: Electrocardiografía (ECG), Electromiografía del zigomático mayor (EMGz) y del corrugador superciliar (EMGc) y conductividad de la piel (GSR).

Asegurar un buen contacto entre el electrodo y la piel es muy importante para obtener registros superficiales de calidad: amplitud suficiente, eliminar interferencias eléctricas, reducir el riesgo de desequilibrio entre los electrodos y reducir el ruido. Por lo cual, se utilizó crema conductora para mejorar la conductividad y se fijaron los electrodos con esparadrapo hipo-alérgico y transpirable.

A partir de las señales fisiológicas proporcionadas por el sistema Varioport, se realizó el siguiente **pre-procesado** (figura 4.7):

- Señales de EMG: Se aplicó un filtro elimina banda (“notch filter”) a 50 Hz y 100 Hz para cancelar el efecto del ruido asociado a los armónicos de primer y segundo orden de la red eléctrica. A continuación, se aplicó un filtro paso alto a 0,2 Hz para rechazar el efecto de la línea base, y un filtro paso banda entre 30 Hz y 500 Hz, que corresponde con la banda de interés de la EMG. Por último, se aplicó una rectificación de onda completa con un filtro paso bajo a 4 Hz para adquirir la envolvente de la EMG.

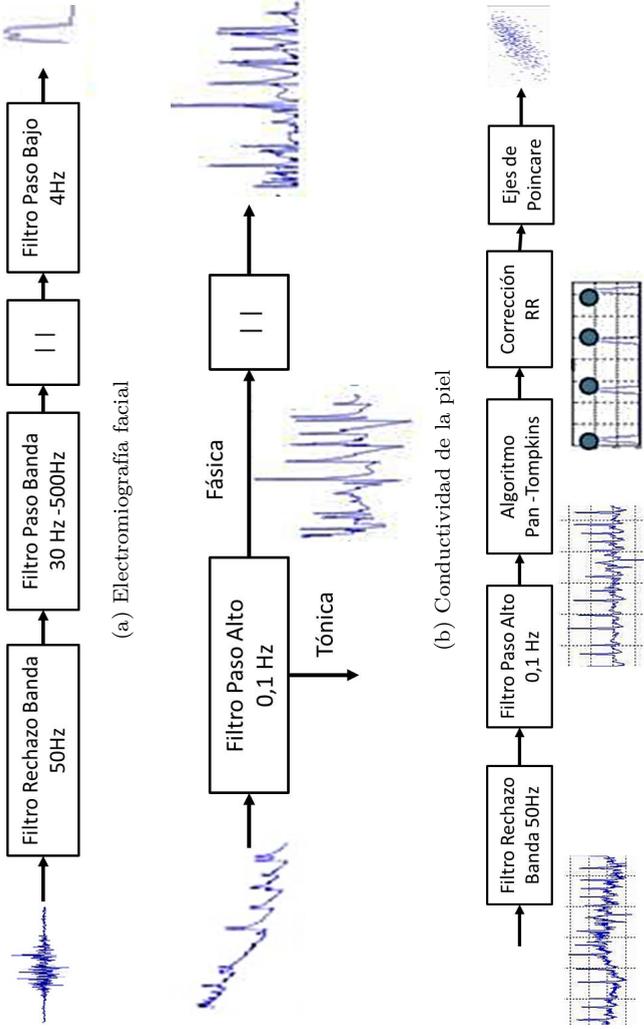


Figura 4.7: Procesado de las señales fisiológicas.

- Señal de conductividad de la piel: Esta señal está compuesta por una respuesta tónica o línea base (0 Hz - 0,05Hz), y una respuesta fásica (0,05 Hz-1,5 Hz), la cual representa las fluctuaciones rápidas como respuesta a un estímulo externo [175], en nuestro caso la respuesta a los estímulos de la página web. Por ello, se aplicó un filtro paso alto a 0,1 Hz para asegurarse de eliminar la componente tónica (<0.05 Hz) y quedarse con la componente fásica. Por último, se tomó el valor absoluto.
- Señal de ECG: Se aplicó un filtro rechaza banda a 50 Hz y 100 Hz para cancelar el efecto del ruido asociado a los armónicos de primer y segundo orden de la red eléctrica. A continuación, se aplicó un filtro paso alto de 0,1 Hz para disminuir el efecto de la línea base y cancelar los artefactos asociados al movimiento del cuerpo (p.e. la respiración) y al movimiento de los electrodos respecto a la piel. Una vez obtenida una señal de ECG limpia, se utilizó una versión modificada [239] del algoritmo de Pan-Tompkins [240] para detectar los picos “R” y calcular el ritmo cardíaco. A partir del vector del ritmo cardíaco actual (RR_n) y anterior (RR_{n-1}), se extrajeron los ejes de Poincare (figura 4.8), que aportan información de la variabilidad del ritmo cardíaco [241, 242] a corto, SD1 (4.1), y largo plazo, SD2 (4.2), mediante el algoritmo de Piskorski y Guzik [242].

$$SD1 = \sqrt{\frac{1}{N} * \frac{\sum((RR_n - RR_{n-1}) - \text{media}(RR_n - RR_{n-1}))^2}{2}} \quad (4.1)$$

$$SD2 = \sqrt{\frac{1}{N} * \frac{\sum((RR_n + RR_{n-1}) - \text{media}(RR_n + RR_{n-1}))^2}{2}} \quad (4.2)$$

Por último, se realizó la **normalización** de las señales de EMG y GSR, la cual es crítica en este tipo de experimentación, para reducir la variabilidad intra- e ínter-sujeto. Se tomó el percentil 75 de la señal durante la realización de cada tarea (“X”) y se normalizó (“N”) respecto al percentil 75 de la señal durante los primeros 30 segundos de la pantalla en negro (“B”), correspondientes al estado de relajación o estado basal (4.3).

$$N = \frac{(X - B)}{B} \quad (4.3)$$

Como resultado de este proceso se obtuvieron las siguientes **medidas**:

- HRV: Variabilidad del ritmo cardíaco, correspondiente con la variabilidad a largo plazo (SD2) de los ejes de Poincare.

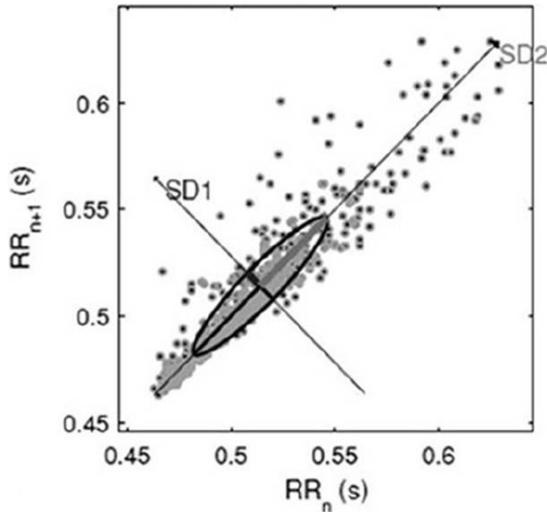


Figura 4.8: Diagrama con los ejes de Poincare. Reimpresión de imagen de[243].

- EMGz: Amplitud de la señal sobre el zigomático mayor normalizada respecto al instante basal.
- EMGc: Amplitud de la señal sobre el corrugador superciliar normalizada respecto al instante basal.
- GSR: Amplitud de la respuesta fásica de la conductividad de la piel normalizada respecto al instante basal.

4.2.6. Realización estudio piloto

Antes del desarrollo de los experimentos se realizó un estudio piloto con los siguientes **objetivos**:

1. Refinar el protocolo de experimentación a partir de las posibilidades de mejora detectadas.
2. Poner a punto la metodología de adquisición y análisis de datos del seguimiento de la mirada y la respuesta fisiológica del usuario.
3. Analizar si las variables elegidas permiten valorar la usabilidad y refinar los algoritmos de pre-procesado.

En este estudio participaron **8 usuarios** (4 hombres y 4 mujeres con edades entre 25 y 35 años), 4 usuarios con movilidad reducida en los miembros superiores, pero con capacidad para manejar un ratón convencional, y 4 usuarios control sin ningún tipo de limitación funcional.

En la sección 5.2 se muestran los principales resultados que se obtuvieron, la versión definitiva del protocolo de experimentación y la puesta a punto de las variables más adecuadas para analizar la usabilidad (sección 4.2.5), incluyendo un ajuste fino del procesado de las señales fisiológicas y del seguimiento de la mirada (sección 4.2.5).

4.2.7. Análisis de datos

Esta sección se centra en el análisis que se ha seguido para valorar las tres hipótesis de partida.

En primer lugar, y como paso previo al análisis para la validación de hipótesis, se realizó un **análisis exploratorio y descriptivo** para todos los datos y segmentándolos según el perfil de usuario, para analizar las características de las variables de cada nivel.

Para el **Nivel 1**, se calcularon las medias y desviaciones estándar de las valoraciones globales sobre la propia web y su usabilidad, diferenciando según perfil de usuario.

Para el **Nivel 2**, debido al elevado número de preguntas (19) y la alta correlación entre ellas, se realizó un análisis de componentes principales (ACP) [80] para disponer de un número reducido e independiente de variables.

Se utilizó un ACP con una rotación Varimax, para mejorar la comprensión de los componentes, y una normalización Kaiser. Esto permitió reducir las 19 preguntas del cuestionario a 5 componentes independientes que contenían prácticamente la misma información. Sólo se tuvieron en cuenta las componentes con valores propios superiores a uno.

A continuación, se calcularon las medias y desviaciones estándar de las 5 componentes, diferenciando según perfil de usuario.

Para el **Nivel 3**, se calculó la media y desviación estándar del tiempo empleado para realizar las tareas y la tasa de éxito de la finalización de la tarea, distinguiendo, en ambos casos, según perfil de usuario.

Para el **Nivel 4**, se calcularon las medias y desviación estándar de las variables fisiológicas y del seguimiento de la mirada, distinguiendo por perfil de usuario.

En segundo lugar, se realizó un **estudio de inferencia** para evaluar el impacto de las recomendaciones, el perfil de usuario y el aprendizaje en las

variables de usabilidad (objetivo 11). Esto permitió, como se explica más adelante, validar las 3 hipótesis de partida.

Para ello, se definió un **modelo causa-efecto** (figura 4.9) para cada una de las variables (efectos) de los 4 niveles con los siguientes factores (causas):

- Las siete recomendaciones de usabilidad (P1-P7) elegidas (ver sección 4.1.2).
- El perfil de usuario: Usuarios sin limitaciones funcionales (usuarios control) y usuarios con limitación motora (LM).
- La sesión (S) y repetición (R): Estos factores se han incluido para poder evaluar los procesos de adaptación y aprendizaje. Aunque no están recogidos en la norma ISO, son aspectos de gran importancia en la usabilidad, especialmente en interfaces complejos o en usuarios noveles o con limitaciones funcionales.
- Interacciones del perfil de usuario con el resto de factores: Para poder analizar las diferencias del impacto de las recomendaciones y las diferencias en los procesos de aprendizaje según el perfil de usuario.

Para el **nivel 1 y el nivel 2**, se realizó un análisis univariado de la varianza (ANOVA) para cada una de las variables basado en los factores anteriores, a excepción de la repetición (4.4). La repetición ha sido eliminada del modelo porque el cuestionario sólo se pasaba una vez durante la primera y tercera sesión para cada una de las tareas. Además, se realizó un análisis post-hoc de Bonferroni para los factores con más de dos niveles (menús y sesión) y las interacciones con la limitación motora.

$$Variable \sim (P1 + P2 + P3 + P4 + P5 + P7 + S) * (1 + LM) \quad (4.4)$$

Para el **nivel 3 y nivel 4**, se realizó un ANOVA del tiempo empleado para finalizar la tarea y para las variables del nivel 4, siguiendo el mismo descrito para el nivel 1 y 2, pero añadiendo el factor repetición (R) (4.5). Además, se realizó un análisis post-hoc de Bonferroni para los factores con más de dos niveles (menús, sesión y repetición) y las interacciones con la limitación motora. Como la finalización de la tarea es una variable dicotómica, de “Sí” o “No”, se aplicó un análisis de contingencia para cada uno de los factores y su interacción con el perfil de usuario (4.5).

$$Variable \sim (P1 + P2 + P3 + P4 + P5 + P7 + S + R) * (1 + LM) \quad (4.5)$$

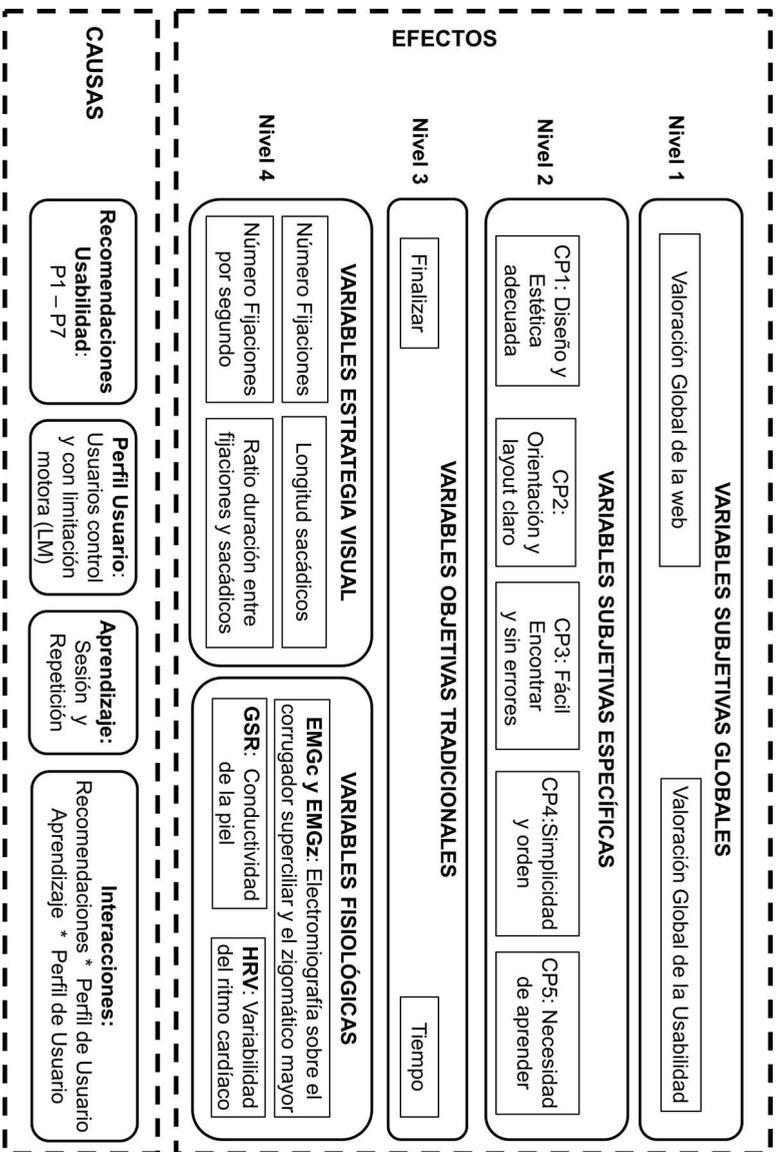


Figura 4.9: Estructura del modelo estadístico de 4 niveles del efecto de las recomendaciones, el aprendizaje y el perfil del usuario en las distintas variables para evaluar la usabilidad.

Como se ha explicado, **todas las variables se analizaron con el mismo modelo**. Excepto para las variables subjetivas, correspondientes al Nivel 1 y 2, donde la repetición fue eliminada.

En tercer lugar, a partir de los resultados del estudio de inferencia, se analizó la **validez** de las tres hipótesis de la siguiente forma:

- **Hipótesis 1:** “Las recomendaciones de usabilidad web proporcionadas por expertos no han sido validadas mediante pruebas con usuarios, pudiendo existir discrepancias entre las opiniones de expertos y los problemas reales de usabilidad de los usuarios”. Para analizar su validez se realizó el siguiente proceso con cada una de las recomendaciones:
 1. Se contabilizaron las influencias significativas ($p < 0,05$) de cada recomendación en las variables de usabilidad, así como si incrementaba o disminuía el valor de dicha variable. Cada influencia significativa se consideró un “impacto”.
 2. Los impactos se codificaron en positivo (+) o negativo (-), tal y como se muestra en la tabla 4.3a. Para ello, se tuvo en cuenta si incrementaba o reducía el valor de la variable y la relación de la variable con la usabilidad. Por ejemplo, si el aumento del número de fijaciones es negativo para la usabilidad y una recomendación reduce el número de fijaciones el impacto se codifica como positivo.
 3. Se realizó un recuento de los impactos positivos y negativos, asignando una valoración a cada recomendación en función de dicho recuento:
 - Positiva (P): Si tenía más impactos positivos que negativos, se consideraba que la recomendación mejoraba la usabilidad.
 - Negativa (N): Si tenía más impactos negativos que positivos, se consideraba que la recomendación empeoraba la usabilidad.
 - Incertidumbre (I): Si el número de impactos negativos y positivos era similar, se consideraba que el efecto de la recomendación no era claro, es decir, que no se podía asegurar que mejorara ni empeora la usabilidad.
- **Hipótesis 2:** “Las recomendaciones de usabilidad web no son válidas para todos los perfiles de usuario sino que dependen de las capacidades y características de cada usuario”. Para analizar su validez se realizó el siguiente proceso con cada una de las recomendaciones:

1. Se contabilizaron las influencias significativas ($p < 0,05$) de la interacción del perfil de usuario con cada recomendación en las variables de usabilidad. Se anotaba si la recomendación incrementaba o disminuía el valor de dicha variable para los usuarios control y para los usuarios con limitación motora. Para ambos perfiles de usuario, cada influencia significativa se consideraba un “impacto”.
 2. Para cada perfil de usuario, los impactos se codificaron en dos niveles, positivo (+) y negativo (-), tal y como se muestra en la tabla 4.3b. Para ello, se tuvo en cuenta si incrementaba o reducía el valor de la variable y la relación de la variable con la usabilidad.
 3. Si una variable no tenía ninguno impacto, ya fuera positivo o negativo, para ninguno de los dos grupos de usuarios, se añadía el impacto anotado en la tabla 4.3a para ambos perfiles. Se consideraba que si la recomendación influía en la variable pero no existían diferencias por perfil de usuario, el impacto en ambos perfiles era el mismo.
 4. Para cada perfil de usuario, se realizó un recuento del número de impactos positivos y negativos, asignando una valoración a cada recomendación en función de dicho recuento (tabla 4.3b).
 - Positiva (P): Si tenía más impactos positivos que negativos, se consideraba que la recomendación mejoraba la usabilidad para dicho perfil.
 - Negativa (N): Si tenía mas impactos negativos que positivos, se consideraba que la recomendación empeoraba la usabilidad para dicho perfil.
 - Incertidumbre (I): Si el número de impacto negativos y positivos era similar, se consideraba que el efecto de la recomendación para dicho perfil no era claro, es decir, que no se podía asegurar que mejorara ni empeora la usabilidad para dicho perfil.
- **Hipótesis 3:** “Enfoques innovadores, como el análisis de la respuesta fisiológica y el seguimiento de la mirada, permiten detectar mejor el efecto de las recomendaciones de usabilidad que las variables tradicionales, como el tiempo o los cuestionarios”. Para analizar su validez se realizó el siguiente proceso con cada Nivel:
 - Recuento del número de factores (recomendaciones y su interacción con el perfil de usuario) que influyen de forma significativa en cada una de las variables de dicho nivel. Además, se codificó el

nivel de significación: “-” no significativo; “*” $0,01 < p < 0,05$; “**” $0,001 < p < 0,01$; y “***” $p < 0,001$.

- Si un factor influía de forma significativa en alguna de las variables se consideraba que las variables de dicho nivel eran capaces de detectar dicho efecto. Además, se tomaba el valor más alto de significación para cada factor, tal y como se muestra en la tabla 4.3c.
- Se comparó el número de factores significativos y el nivel máximo de significación de cada nivel para valorar que nivel era más sensible al efecto de las recomendaciones de usabilidad y al perfil de usuario.

Por último, se realizó una **análisis de correlaciones** para analizar la relación entre los distintos niveles del modelo (objetivo 12): variables subjetivas globales (Nivel 1), variables subjetivas específicas (Nivel 2), variables objetivas tradicionales (Nivel 3), y la respuesta emocional y el seguimiento de la mirada (Nivel 4).

Para el cálculo de correlaciones si ambas variables eran variables numéricas y continuas, se ha utilizado la correlación de Pearson. En el caso de que una de las dos variables no fuera numérica (p.e. finalización de la tarea que es una variables dicotómica) o no continua (p.e. la Valoración de la Usabilidad que tiene una escala de Likert de 1 a 5), se ha utilizado la correlación de Tau-Kendall.

A continuación, se describen las correlaciones realizadas entre cada nivel:

- Correlación entre las variables del Nivel 1 y las variables del Nivel 2: Se ha utilizado la correlación de Tau-Kendall para las correlaciones con la Valoración de la Usabilidad (escala de 5 niveles) y con la componente CP5 (escala de 5 niveles); y la correlación de Pearson para el resto de correlaciones con la Valoración global de la web (escala continua de 0 a 10).
- Correlación entre las variables del Nivel 1 y las variables del Nivel 3: Como se ha comentado anteriormente, los cuestionarios solo se rellenaban en la primera sesión y en la tercera sesión y no en cada una de las repeticiones. Por ello, se ha calculado la media de la variable duración de la tarea (Nivel 3) a lo largo de cada una de dichas sesiones; y se ha calculado la moda para la variable finalización de la tarea (Nivel 3) por ser una variable dicotómica. A continuación, se ha utilizado la correlación de Tau-Kendall para las correlaciones con la Valoración de la Usabilidad y la finalización de la tarea (variable dicotómica del nivel 3); y la correlación de Pearson para el resto de correlaciones.

Variables	Recomendaciones			
	P1	P2	...	P7
Variable 1 del Nivel 1	+	+		
Variable 2 del Nivel 1	+	-		
Variable 1 del Nivel 2		-		
Variable 2 del Nivel 2	-			-
.....				
Variable 3 del Nivel 4	+	-		+
Variable 4 del Nivel 4		+		-
Total	P	N		I

(a) Recuento Hipótesis 1

Variables	Recomendaciones						
	P1		P2		...	P7	
	LM	C	LM	C		LM	C
Variable 1 del Nivel 1	+		+			+	+
Variable 2 del Nivel 1	+		+	-		+	
Variable 1 del Nivel 2	+	-	-	-		+	
Variable 2 del Nivel 2	-	-	-			-	-
.....							
Variable 3 del Nivel 4	+		-	-		+	+
Variable 4 del Nivel 4			+			+	-
Total	P	N	I	N		P	I

(b) Recuento Hipótesis 1

	Factor	Variables del Nivel 4				
		V1	V2	V3	V4	Max
Recomendación	P1	**	*	-	***	***
	P2	-	-	-	-	-
	...					-
	P7	*	-	-	-	*
Total						2
Influencia usuario	LM	***	-	-	-	***
	P1*LM	***	***	***	-	-
	P2*LM	-	*	***	-	***
	..	-	-	-	-	-
	P7*LM	-	*	-	*	*
Total						3

(c) Tabla apoyo Hipótesis 3

Tabla 4.3: Ejemplo tabla de recuento para la hipótesis 1, 2 y 3. P1-P7: Recomendaciones de usabilidad. Valoración global de la recomendación: P (Positiva), N (Negativa) e I (Incertidumbre). Perfil de usuario: Usuario control (C) y usuario con limitación motora (LM).

- Correlación entre las variables del Nivel 1 y las variables del Nivel 4: Al igual que en el caso anterior, se calculado la media de las variables fisiológicas y del seguimiento de la mirada (Nivel 4) a lo largo de la primera y tercera sesión. A continuación, se ha utilizado la correlación de Tau-Kendall para las correlaciones con la Valoración de la Usabilidad (escala de 5 niveles); y la correlación de Pearson para las correlaciones con la Valoración global de la web (escala continua de 0 a 10).
- Correlación entre las variables de Nivel 2 y las variables de Nivel 3: Al igual que en el caso anterior, se ha calculado la media de la variable tiempo (Nivel 3) a lo largo de cada una de dichas sesiones; y se ha calculado la moda para la variable finalización de la tarea (Nivel 3) por ser una variable dicotómica. A continuación, se ha utilizado la correlación de Tau-Kendall para la finalización de la tarea y la componente CP5; y la correlación de Pearson para el resto de correlaciones.
- Correlación entre las variables de Nivel 2 y las variables de Nivel 4: Al igual que en el caso anterior, se calculado la media de las variables fisiológicas y del seguimiento de la mirada (Nivel 4) a lo largo de la primera y tercera sesión. A continuación, se ha utilizado la correlación de Tau-Kendall para las correlaciones con la componente CP5 y la correlación de Pearson para el resto de correlaciones.
- Correlación entre las variables de Nivel 3 y las variables de Nivel 4: Se ha utilizado la correlación de Tau-Kendall para la finalización de la tarea y la correlación de Pearson para el resto de correlaciones.

Las correlaciones anteriores se han realizado para el conjunto de usuarios y estratificando por perfil de usuario.

A partir de las correlaciones obtenidas, se ha definido un modelo simplificado de la valoración global de la web y de la valoración de la usabilidad (objetivo 12), diferenciando por perfil de usuario.

En todos los análisis descritos en esta sección, se consideran que existen diferencias o relaciones significativas si el “p” valor es menor a 0,05. El nivel de significación se ha categorizado en 4 niveles: no significativo (‘.’ si $p > 0,05$), significativo (‘*’ si $0,01 < p < 0,05$), muy significativo (‘**’ si $0,001 < p < 0,01$) y nivel más alto de significación (‘***’ si $p < 0,001$).

El análisis estadístico se realizó mediante el software estadístico SPSS v16. Excepto para el cálculo post-hoc de las interacciones, que se realizó con un paquete estadístico desarrollado en Matlab [244], ya que SPSS no permite realizar dicho análisis. Dicho paquete estadístico tiene en cuenta del número

de comparaciones realizadas para corregir los efectos aleatorios, siendo por tanto más restrictivo que las comparaciones post-hoc realizadas con SPSS.

Capítulo 5

Resultados

Los resultados se han organizado en 9 secciones. En la sección 5.1 se muestran los resultados de la revisión de recomendaciones de usabilidad, así como la justificación de la elección de las recomendaciones, que han sido posteriormente evaluadas mediante las páginas web desarrolladas (objetivo 7). Estos resultados cubren desde el objetivo 1 hasta el objetivo 6.

En las secciones 5.2 y 5.3 se describen los resultados del estudio piloto y la distribución final de usuarios. Estos resultados, junto a los mostrados en la secciones 4.2.1- 4.2.6, cubren desde el objetivo 7 hasta el objetivo 12.

En la sección 5.4 se explica el efecto de las recomendaciones de usabilidad, el perfil de usuario y el aprendizaje en las variables de usabilidad de los 4 niveles (objetivo 11).

En las secciones 5.7, 5.5 y 5.6 se sintetizan los resultados de la sección anterior y se pone el foco de atención sobre las tres hipótesis de partida, como paso previo a su discusión. Además, en la sección 5.8 se profundiza sobre los procesos de adaptación y aprendizaje.

Por último, en la sección 5.9 se analizan las relaciones entre las variables de los 4 niveles del modelo de usabilidad descrito en la sección 4.2.7. Además, se presenta un modelo simplificado de la valoración general de la web y de la usabilidad, cubriendo el objetivo 12.

5.1. Selección de las recomendaciones web a evaluar

Esta sección recoge los resultados del análisis y selección de las recomendaciones de usabilidad, uno de los **factores** (causas) en el modelo de usabilidad, tal y como se observa en la figura 5.1.

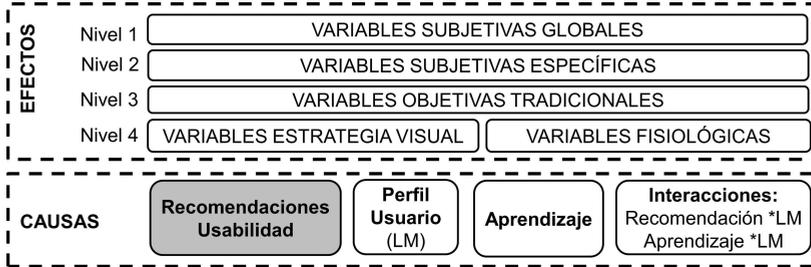


Figura 5.1: Estructura del modelo estadístico de 4 niveles del efecto de las recomendaciones de usabilidad y el perfil del usuario en las distintas variables para evaluar la usabilidad. El cuadro sombreado indica que esta sección se centra en el análisis y selección de las recomendaciones de usabilidad.

En la sección 5.1.1 se analiza la frecuencia de aparición de las recomendaciones de usabilidad en las páginas web seleccionadas (objetivo 3), como punto de partida para la selección final de las recomendaciones a evaluar.

En la sección 5.1.2 se comprueba que la presencia o ausencia de las recomendaciones de usabilidad no depende de la tipología de web (objetivo 4).

En la sección 5.1.3 se comprueba que el cumplimiento de la accesibilidad no garantiza la presencia de las recomendaciones de usabilidad (objetivo 5).

A partir de los resultados anteriores, se muestran las recomendaciones de usabilidad que finalmente se han escogido (objetivo 6) para su evaluación mediante usuarios (ver sección 5.4).

5.1.1. Frecuencia de aparición de las recomendaciones de usabilidad

La frecuencia de aparición de las distintas recomendaciones varía considerablemente en el conjunto de páginas web analizadas, el cual estaba compuesto por 125 páginas web (figura 4.1 que se enumeran en el anexo A).

Existen recomendaciones ampliamente extendidas como disponer de un enlace para ir al inicio de la web, la presencia de un mapa web o la no utilización de scroll horizontal ni imagen de fondo. En la tabla 5.1a se muestra que alcanzan porcentajes superiores al 80 %.

En un escalón intermedio se encuentran las funcionalidades de señalar y hacer clic y el diseño fluido, así como el uso de migas, con una presencia cercana al 50 % (tabla 5.1a).

En cambio, disponer de un enlace para ir a la parte superior de la página tan solo está presente en el 15 % de las páginas (tabla 5.1a). Este efecto se puede deber a que la mayor parte del contenido se presenta en la primera pantalla, no siendo necesario el uso del scroll vertical.

En relación con los menús y sus distintas variantes, se observa que su colocación habitual es en la parte superior (84 %) o en la parte izquierda (70 %) de la web. Estos porcentajes son muy superiores respecto a su utilización en la parte derecha, tal y como se muestra en la tabla 5.1a. Además, el número de opciones del menú se sitúa entre 4 y 10, según la posición del menú; y con el uso de 1 ó 2 niveles de profundidad (tabla 5.1b).

A partir de estos resultados, se decidió eliminar del análisis las recomendaciones “ausencia del scroll horizontal” y “no utilización de imagen de fondo”, dado que tienen una respuesta prácticamente uniforme (lo cumplen el 98 % de las páginas web) y no aporta información relevante para los siguientes análisis de la sección 5.1.

5.1.2. Relación entre las recomendaciones de usabilidad y tipología de web

En la tabla 5.2 se muestra la relación entre la presencia de las recomendaciones de usabilidad y la tipología de web. Como puede observarse, la tipología de web solo influye significativamente en la presencia de las recomendaciones disponer de menú izquierdo ($p=0,011$) y menú derecho ($p=0,023$), migas ($p<0,001$) y diseño fluido ($p=0,031$).

La utilización de menú en la izquierda es más frecuente en las web de ayuntamientos y universidades (tabla 5.2), mientras que su colocación en la derecha es más frecuente en las webs de Comunidades Autónomas y Administraciones Públicas. Sin embargo, en líneas generales su presencia es inferior al resto de menús.

Las “migas” se encuentran entre el 60 % y el 90 % de todas los sitios web, a excepción de las webs de viajes y transportes, que tan sólo llegan al 20 %. Mientras que el diseño fluido está presente en más del 50 % de todas las webs, a excepción de las webs de viajes y de las universidades (tabla 5.2).

Recomendaciones	(%)
Existe menú superior	84
Existe menú en la izquierda	70
Existe menú en la derecha	17
Existe enlace de "ir arriba de la página"	15
Existe enlace de "ir al inicio"	93
Existe información contextual ("breadcrumb" o "migas")	63
No existe scroll horizontal	99
No existe imagen de fondo	98
Los menús funcionan en modo señalar y hacer clic	45
Existe mapa web	81
Utilización de diseño fluído	46

(a) Frecuencia de aparición

Menú	Opciones	Niveles
Superior	4,8	1,3
Izquierda	9,6	1,4
Derecha	1,8	1,1

(b) Media opciones y niveles

Tabla 5.1: Frecuencia de aparición de los recomendaciones de usabilidad y número de opciones de los distintos menús.

Tipología de web	Menú Superior		Menú Izquierdo		Menú derecho	
	No	Sí	No	Sí	No	Sí
Administraciones	2 (22,2%)	7 (77,8%)	5 (55,6%)	4 (44,4%)	6 (66,7%)	3 (33,3%)
Ayuntamientos	3 (16,7%)	15 (83,3%)	4 (22,2%)	14 (77,8%)	18 (100%)	0 (0,0%)
Comunidades	4 (25,0%)	12 (75,0%)	7 (43,8%)	9 (56,2%)	10 (62,5%)	6 (37,5%)
Universidades	10 (15,2%)	56 (84,8%)	14 (21,2%)	52 (78,8%)	55 (83,3%)	11 (16,7%)
Viajes	2 (13,3%)	13 (86,7%)	9 (60,0%)	6 (40,0%)	14 (93,3%)	1 (6,7%)

(a) Presencia tipos de menús

Tipología de web	Ir arriba		Ir a inicio		Migas	
	No	Sí	No	Sí	No	Sí
Administraciones	7 (77,8%)	2 (22,2%)	0 (0,0%)	9 (100%)	1 (11,1%)	8 (59,1%)
Ayuntamientos	15 (83,3%)	3 (16,7%)	3 (16,7%)	15 (83,3%)	3 (59,1%)	15 (59,1%)
Comunidades	14 (87,5%)	2 (12,5%)	3 (18,8%)	13 (81,2%)	4 (59,1%)	12 (75,0%)
Universidades	56 (84,8%)	10 (15,2%)	3 (4,5%)	63 (95,5%)	27 (59,1%)	39 (59,1%)
Viajes	14 (93,3%)	1 (6,7%)	2 (4,5%)	13 (95,5%)	12 (59,1%)	3 (20,0%)

(b) Presencia Ir arriba, ir a inicio y migas.

Tipología de web	Señalar y hacer clic		Mapa web		Diseño fluido	
	No	Sí	No	Sí	No	Sí
Administraciones	8 (88,9%)	1 (11,1%)	2 (22,2%)	7 (77,8%)	4 (44,4%)	5 (55,6%)
Ayuntamientos	10 (55,6%)	8 (44,4%)	1 (5,6%)	17 (94,4%)	7 (38,9%)	11 (61,1%)
Comunidades	9 (56,2%)	7 (43,8%)	4 (25,0%)	12 (75,0%)	5 (31,2%)	11 (68,8%)
Universidades	33 (50,0%)	33 (50,0%)	16 (24,2%)	50 (75,8%)	43 (65,2%)	23 (34,8%)
Viajes	9 (60,0%)	6 (40,0%)	6 (40,0%)	9 (60,0%)	11 (73,3%)	4 (26,7%)

(c) Presencia señalar y hacer clic, mapa web y diseño fluido.

Tabla 5.2: Presencia de las recomendaciones en función de la tipología de web: recuento y porcentaje por fila. Diferencias significativas ($p < 0,05$) resaltadas en negrita..

Recomendación	Tipo de Web	Nivel Accesibilidad
Menú superior	0,099	0,048
Menú izquierdo	0,326	0,188
Menú derecho	0,302	0,212
Ir arriba	0,103	0,195
Ir a inicio	0,221	0,100
Migas	0,390	0,464
Señalar y hacer clic	0,201	0,232
Mapa web	0,212	0,315
Diseño Fluído	0,294	0,169

Tabla 5.3: Tamaño del efecto de la V de Cramer del análisis de contingencia entre las recomendaciones, la tipología de web y el nivel de accesibilidad: inexistente ($<0,1$), baja relación (0,1-0,3), relación moderada (0,3-0,5) y alta relación ($>0,5$).

No parece que exista una relación clara entre la presencia de las recomendaciones de usabilidad y la tipología de web. Además, las pocas relaciones existentes son bajas o moderadas, con una V de Cramer inferior a 0,4 en todos los casos, tal y como se muestra en la tabla 5.3..

El **conjunto de páginas web** seleccionado es **homogéneo** desde el punto de vista de la presencia de las recomendaciones de usabilidad.

5.1.3. Relación entre las recomendaciones web y nivel de accesibilidad

En la tabla 5.4a se muestra que las páginas web de ayuntamientos y Comunidades Autónomas son las que afirman en mayor medida ser accesibles. La relación entre la tipología de web y la declaración de accesibilidad es significativa ($p < 0,001$).

De las páginas web que declaran accesibilidad, el nivel WAI alcanzado varía, principalmente, entre A y AA para el conjunto de páginas web seleccionadas (tabla 5.4b). Las páginas web de los ayuntamientos son las que tienen mayor nivel de accesibilidad. Sin embargo, las diferencias no son significativas ($p = 0,454$).

Por último, de todas las recomendaciones analizadas, tan solo la presencia de las migas y el mapa web tienen una relación significativa con el nivel de ac-

Tipo web	Declara Accesibilidad	
	No	Sí
Ayuntamiento	2 (11,1 %)	16 (88,9 %)
Comunidad	1 (6,2 %)	15 (93,8 %)
Universidad	40 (61,5 %)	25 (38,5 %)
Viajes	12 (80,0 %)	3 (20,0 %)

(a) Declaración Accesibilidad

Tipo de web	Nivel Accesibilidad			
	Ninguno	WAI-A	WAI-AA	WAI-AAA
Ayuntamiento	0 (0,0 %)	3 (18,8 %)	8 (50,0 %)	5 (31,2 %)
Comunidad	0 (0,0 %)	5 (33,3 %)	10 (66,7 %)	0 (0,0 %)
Universidad	1 (4,0 %)	7 (28,0 %)	15 (60,0 %)	2 (8,0 %)
Viajes	0 (0,0 %)	1 (33,3 %)	2 (66,7 %)	0 (0,0 %)

(b) Nivel de accesibilidad

Tabla 5.4: Tablas de contingencia de declaración de accesibilidad y nivel de accesibilidad en función de la tipología de web: recuento y porcentaje por fila. Ambas relaciones son significativas ($p < 0,05$).

cesibilidad, tal y como se muestra en la tabla 5.5. En ambos casos, su presencia es mayor en las páginas web con los niveles de accesibilidad más altos.

Sin embargo, al igual que en la sección 5.1.2, el efecto de la V de Cramer está por debajo de 0,5 como se observa en la tabla 5.3. Por lo tanto, no existe ninguna relación alta, ya que la V de Cramer debe ser mayor a 0,6 para considerarse una relación alta. Tan solo en el caso de las migas, se podría considerar que existe una relación moderada-alta ($V=0,464$), tal y como se muestra en la tabla 5.3.

Las pocas relaciones existentes entre las recomendaciones de usabilidad y el nivel de accesibilidad, así como moderada relación, muestran que **no existe una relación clara entre la accesibilidad y la usabilidad**; tal y como se introducía en la sección 2.3. La mejora de la usabilidad web, para asegurar la facilidad de uso y una interacción satisfactoria del usuario, va más allá del estricto cumplimiento de las pautas de accesibilidad

Nivel	Menú Superior		Menú Izquierda		Menú Derecha	
	No	Sí	No	Sí	No	Sí
No accesible	10 (17,5%)	47 (82,5%)	19 (33,3%)	38 (66,7%)	49 (86,0%)	8 (14,0%)
WAI-A	2 (12,5%)	14 (87,5%)	6 (37,5%)	10 (62,5%)	15 (93,8%)	1 (6,3%)
WAI-AA	6 (17,1%)	29 (82,9%)	9 (25,7%)	26 (74,3%)	26 (74,3%)	9 (25,7%)
WAI-AAA	1 (14,3%)	6 (85,7%)	0 (0,0%)	7 (100,0%)	7 (100,0%)	0 (0,0%)

(a) Menú superior, izquierda y derecha.

Nivel	Ir Arriba		Ir Inicio		Migas	
	No	Sí	No	Sí	No	Sí
No accesible	50 (87,7%)	7 (12,3%)	6 (10,5%)	51 (89,5%)	35 (61,4%)	22 (38,6%)
WAI-A	15 (93,8%)	1 (6,3%)	1 (6,3%)	15 (93,8%)	6 (37,5%)	10 (62,5%)
WAI-AA	27 (77,1%)	8 (22,9%)	4 (11,4%)	31 (88,6%)	4 (11,4%)	31 (88,6%)
WAI-AAA	7 (100,0%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)	7 (100,0%)	1 (14,3%)	6 (85,7%)

(b) Ir arriba, ir inicio y migas.

Nivel	Mapa Web		Señalar y hacer clic		Diseño fluido	
	No	Sí	No	Sí	No	Sí
No accesible	17 (29,8%)	40 (70,2%)	27 (47,4%)	30 (52,6%)	36 (63,2%)	21 (36,8%)
WAI-A	7 (43,8%)	9 (56,3%)	13 (81,3%)	3 (18,8%)	9 (56,3%)	7 (43,8%)
WAI-AA	3 (8,6%)	32 (91,4%)	17 (48,6%)	18 (51,4%)	19 (54,3%)	16 (45,7%)
WAI-AAA	0 (0,0%)	7 (100,0%)	4 (57,1%)	3 (42,9%)	2 (28,6%)	5 (71,4%)

(c) Mapa web, señalar y hacer clic, y diseño fluido.

Tabla 5-5: Tablas de contingencia de la presencia de las recomendaciones en función del nivel de accesibilidad: recuento y porcentaje por fila de cada recomendación. Diferencias significativas ($p < 0,05$) resaltadas en negrita.

5.1.4. Selección de las recomendaciones de usabilidad

A partir de los resultados de las secciones 5.1.1, 5.1.2 y 5.1.3 se escogieron las **siete recomendaciones de usabilidad** a evaluar en la siguiente fase:

- P1: Disponer de la opción “Ir a inicio”. Consiste en un elemento activo, ya sea un hipervínculo o un botón, que permite a los usuarios el acceso a la página principal desde cualquier otra página del sitio web.
- P2: Dispone de la opción “Ir arriba”. Consiste en un elemento activo, ya sea un hipervínculo o un botón, que permite dirigirse de forma automática y rápida desde la posición en la que está el usuario hasta el principio de la página. Es un elemento de utilidad para los sitios web que requiere del uso de scroll vertical.
- P3: Disponer de Mapa web. Es la forma de organización y representación del sitio web. Permite al usuario conocer de un solo vistazo como está organizado el sitio web. Además, el usuario puede hacer clic para acceder directamente a cualquier sección de la web.
- P4: Disponer de la funcionalidad “Señalar y hacer clic”. Consiste en un recurso con el cual, al llevar el ratón hasta la opción querida o hacer clic en ella, se despliega una lista con más opciones, en nuestro caso, aplicado a los menús.
- P5: No utilizar “Imagen de fondo”. Consiste en la no colocación de una imagen detrás de gran parte del contenido principal, para evitar problemas de lectura y localización de la información clave.
- P6: Disponer de la funcionalidad “Migas” (Información contextual o “breadcrumb”). Consiste en un elemento que permite al usuario orientarse dentro del sitio web por el cual discurre su navegación. Este recurso normalmente se encuentra colocado en la parte izquierda, debajo de la cabecera de la página e inmediatamente antes del contenido principal de la misma. Además, se puede utilizar como un elemento activo para que el usuario pueda hacer clic en cualquiera de los elementos de la ruta en la que se encuentra y acceder directamente.
- P7: Disponer de un menú adecuado. Consiste en un listado de secciones de la web que permiten al usuario ir directamente a dicha sección al realizar clic sobre el elemento. Los menús pueden tener distintos elementos, niveles de profundidad y con funciones específicas como desplegar el siguiente nivel al pasar por encima del elemento o al hacer clic.

El principal criterio para su elección fue la frecuencia de aparición de dichas recomendaciones (sección 5.1.1). En el caso de los menús, se escogió la posición izquierda y superior, ya que eran las que aparecían con mayor frecuencia. Además, se limitaron los menús a:

- Dos niveles de jerarquía como máximo en ambos menús.
- Cinco opciones en el menú superior y ocho en el menú izquierdo.

Ambas características estaban dentro de los rangos de las web analizadas, tal y como se ha mostrado en la tabla 5.1b. Además, se respeta el rango recomendado por expertos de 4 a 8 opciones [245] y un máximo de 3 niveles de jerarquía [246].

Por último, a pesar de que la frecuencia de aparición del diseño fluido es elevada, se decidió eliminarla. Su uso depende de que el tamaño de letra sea insuficiente y los usuarios utilicen el zoom (teclas combinadas de “control” y “+”) para aumentar el tamaño de letra. Sin embargo, nuestra web cumplía los requisitos de tamaño de letra y no es una funcionalidad que utilicen la mayoría de usuarios si no tienen problemas de visión, lo que dificultaría su evaluación real.

5.2. Resultados del estudio piloto

Durante el estudio piloto se detectaran oportunidades de **mejora** del protocolo, entre las que destacan:

- Ubicación del observador: Se debe colocar detrás del usuario para limitar cualquier interferencia en la interacción del usuario y minimizar los estímulos externos. Además, se debe tener en cuenta la distancia a la que se sitúa el experimentador. Lo ideal es cuanto más distancia mejor, pero si sólo se cuenta con la pantalla que utiliza el usuario, como es nuestro caso, esta distancia deberá ser tal que permita la lectura al experimentador y observar la interacción que realiza el usuario. Por tanto, es necesario alcanzar una distancia de compromiso para que no afecte al usuario y le permita al experimentador observar la interacción del usuario.
- Problemas de interacción: Algunos usuarios utilizan la rueda central del ratón para realizar la navegación vertical en la web, esto provoca que no utilicen la barra vertical del navegador ni se apoyen en distintas recomendaciones como disponer del botón “Ir arriba”. Por tanto, en la fase experimental se ha utilizado un ratón sin rueda central para forzar que los usuarios interaccionen con los distintos parámetros de la web.

- Rediseño de la web: Es necesario modificar la apariencia página principal o “Home” de la web, ya que a los usuarios les resulta difícil de distinguir, de un simple vistazo, del resto de pantallas.
- Problemas de equipamiento: A lo largo de la sesión algunos electrodos pueden dejar de tener buen contacto, afectando a la calidad de las señales fisiológicas obtenidas. Para evitar este problema se dispondrá de un equipo portátil que monitorice en todo momento las señales fisiológicas. De este modo, en caso de detectar pérdida de calidad de la señal, se puede revisar la colocación de los electrodos.
- Introducción de artefactos: Durante la realización de las tareas, algunos usuarios pensaban en voz alta o preguntaban al experimentador cuando tenían una duda, produciendo activaciones en las señales fisiológicas y alteraciones en la trayectoria visual que no se debían a la interacción con la web. Por ello, es especialmente importante resaltar a los usuarios que no pueden hablar durante la realización de la tarea, y que cualquier duda o comentario que tengan, la pueden realizar una vez finalizado cada objetivo/tarea.
- Material extra necesario: Disponer de un teclado inalámbrico para permitir al observador pulsar las teclas F1/F10 (teclas de control configurables del sistema Tobii) para pasar de una tarea a la siguiente, ya que algunos usuarios con movilidad reducida tienen problemas al utilizar el teclado. Además, se debe colocar una pantalla extra en paralelo a la pantalla del Tobii que está utilizando el usuario, para que el observador pueda estar a una distancia adecuada sin interferir.
- Refinamiento del procesado de la respuesta fisiológica y la mirada: Los datos obtenidos permitieron realizar un ajuste fino de las frecuencias de corte de algunos filtros, como la envolvente de la electromiografía, y del radio y del tiempo que definen una fijación.

El conjunto de cambios se introdujo en el protocolo definitivo (objetivo 10) que se utilizó en las pruebas con usuarios, cuyos resultados se muestran en las siguientes secciones.

5.3. Descripción de la muestra de usuarios

En la experimentación participaron 20 usuarios: 10 usuarios control y 10 usuarios con movilidad reducida en los miembros superiores, pero con capacidad para utilizar un ratón convencional.

Recomendaciones Usabilidad	Conocimiento	Uso
“Ir a inicio”	100 %	95 %
“Ir arriba”	95 %	84 %
“Migas”	53 %	79 %
“Mapa web”	89 %	68 %
“Señalar y hacer clic”	89 %	74 %
“Imagen de fondo”	89 %	32 %
“Tipo Menú”	100 %	89 %

Tabla 5.6: Porcentajes de conocimiento y uso de las recomendaciones de usabilidad por parte de los usuarios participantes en la evaluación.

Ambos grupos estaban equilibrados en cuanto a género, con una media de edad de 36 años y un nivel mínimo de estudios correspondiente a educación primaria.

El grupo de usuarios con movilidad reducida estaba compuesto por usuarios con distintas **patologías** congénitas o adquiridas: parálisis cerebral (1), ataxia de Friedreich (3), neuropatía congénita (1), miastemia (1), derrame cerebral (1), distrofia muscular (1), y patología sin determinar causante de deformaciones y/o dolor en columna y cuello, afectando a la movilidad (2).

Todos los usuarios tenían **amplia experiencia en el uso de ordenadores** (media +/- d.e.: 12,6 años +/- 5,1 años), utilizaban con frecuencia el ordenador (media +/- d.e.: 4,3 horas/día +/- 3,1 horas/día), y accedían a Internet diariamente. Además, la mayoría de usuarios **conocían todas las recomendaciones** (tabla 5.6), a excepción de las migas, que si bien no conocían su nombre sí que las utilizaban.

5.4. Influencia de las recomendaciones, perfil de usuario y aprendizaje en las variables de usabilidad

En esta sección se muestran los resultados de la influencia de las recomendaciones, perfil de usuario y aprendizaje en las variables de usabilidad, correspondiente con el objetivo 11.

La sección está subdividida de acuerdo con los distintos niveles de variables: variables subjetivas globales correspondientes al nivel 1 (sección 5.4.1), variables subjetivas específicas correspondientes al nivel 2 (sección 5.4.2), variables

objetivas tradicionales correspondientes al nivel 3 (sección 5.4.3), y variables asociadas a la respuesta fisiológica (sección 5.4.4) y seguimiento de la mirada (sección 5.4.5) correspondientes al nivel 4.

Los resultados de cada nivel presentan la siguiente estructura:

- Resultados del análisis exploratorio del conjunto de variables del nivel, distinguiendo por perfil de usuario.
- Sensibilidad del conjunto de variables del nivel para detectar el efecto de las recomendaciones, el perfil de usuario y el aprendizaje. Para ello, se ha utilizado el nivel de significación de los ANOVA.
- Resultado del ANOVA aplicado a cada una de las variables del nivel para evaluar:
 - Influencia de las recomendaciones de usabilidad.
 - Aprendizaje: Evolución a lo largo de las sesiones y repeticiones.
 - Diferencias por perfil de usuario.
- Resumen de los resultados de las variables del nivel.

El valor “p” de los factores significativos se muestra entre paréntesis, excepto si el valor de p corresponde con el mínimo registrado ($p < 0,001$).

5.4.1. Influencia de las recomendaciones en las variables Subjetivas Globales: Nivel 1

A continuación, se muestran los resultados de las preguntas globales del cuestionario, “Valoración global de la web” y “Valoración global de la usabilidad”, tal y como se resalta en la figura 5.2.

En la tabla 5.7 se proporcionan los descriptivos de ambas variables. A priori, no existen prácticamente diferencias en la valoración general de la web en función del perfil de usuario. Sin embargo, los **usuarios con limitación motora valoran considerablemente peor la usabilidad** de la web.

Los resultados de la tabla 5.8 muestran que no hay una relación significativa entre las valoración global de la web ni la valoración de la usabilidad con la presencia o ausencia de la mayoría de recomendaciones de usabilidad.

Por un lado, la “**Valoración global de la web**” depende significativamente del tipo de menú ($p < 0,001$), siendo el menú 4 el que contribuye más positivamente a la valoración (figura 5.3). En concreto, existen diferencias significativas entre el menú 4 y los menús 2 y 5 (tabla 5.9).



Figura 5.2: Estructura del modelo estadístico de 4 niveles del efecto de las recomendaciones de usabilidad y el perfil del usuario en las distintas variables para evaluar la usabilidad. Los cuadros sombreados muestran que el análisis se centra en la influencia de las causas sobre las variables de nivel 1.

Nivel 1	Global	LM	Control
Valoración global	6,22 (2,01)	6,20 (1,94)	6,23 (2,09)
Valoración usabilidad	3,59 (1,17)	3,06 (1,12)	4,07 (0,99)

Tabla 5.7: Medias y desviación estándar (d.e.) de las variables de nivel 1 para el conjunto de usuarios y en función del perfil de usuario: sujetos control y con limitación motora (LM). La escala de la valoración global es entre 0 y 10 y la de la valoración de usabilidad entre 1 y 5 (ver anexo C).

Factor		VU	VG
Recomendación	“Ir a inicio”	-	-
	“Ir arriba”	-	-
	“Mapa web”	-	-
	“Señalar y hacer clic”	-	-
	“Imagen de fondo”	-	-
	“Migas”	-	-
	“Menú”	***	***
Aprendizaje	Sesión	-	-
	Repetición	-	-
Influencia usuario	Limitación Motora (LM)	***	-
	Sesión * LM	-	-
	Repetición * LM	-	-
	“Ir a inicio” * LM	-	-
	“Ir arriba” * LM	-	-
	“Mapa web” * LM	-	-
	“Señalar y hacer clic” * LM	-	-
	“Imagen de fondo” * LM	-	-
	“Migas” * LM	-	-
	“Menú” * LM	*	-

Tabla 5.8: Factores significativos del modelo ANOVA para las variables del nivel 1: Valoración de Usabilidad (VU) y Valoración global del la web (VG). Diferencias significativas ($p < 0,05$): “-” $p > 0,05$; “*” $0,01 < p < 0,05$; “***” $0,001 < p < 0,01$; “****” $p < 0,001$.

Menú (i)	Menú (j)	DM (i-j)	error	p
M4	M2	2,16	0,516	<0,001
M4	M5	2,46	0,621	<0,001

Tabla 5.9: Post-Hoc análisis mediante el método de Bonferroni de los valores de la Valoración Global para los distintos tipos de menús (M1-M5). DM: Diferencia de medias; p: nivel de significación. Solo se muestran las diferencias significativas ($p < 0,05$).

En cambio, el resto de recomendaciones no parecen afectar la valoración de la web.

Por otro lado, la “**Valoración global de la usabilidad**” depende significativamente de la presencia de limitación motora ($p < 0,001$), del tipo de menú ($p < 0,001$) y de su interacción con la limitación motora ($p = 0,03$).

En concreto, la valoración de la facilidad de uso disminuye para los sujetos con limitación motora, tal y como se observaba en el análisis exploratorio.

Los menús 3 y 4 contribuyen positivamente a la facilidad de uso, mientras que los menús 1 y 2 empeoran la facilidad de uso (figura 5.3). En concreto, existen diferencias significativas entre el menú 3 y los menús 1, 2 y 5; y entre el menú 4 y el menú 2 (tabla 5.10a).

Los resultados anteriores varían en función del **perfil de usuario**, en línea con la hipótesis 2. Los resultados de los menús para los usuarios control son bastante similares a los resultados generales, a excepción de una mejor valoración del menú 5. Por el contrario, el menú 5 es el que más empeora la facilidad de uso para los sujetos con limitación motora, siendo el menú 3 el que contribuye más a la facilidad de uso (figura 5.3).

Sin embargo, las pruebas post-hoc muestran que solo existen diferencias significativas entre el menú 2 y los menús 3 y 4 para los sujetos control (tabla 5.10b).

5.4.1.1. Resumen resultados del nivel 1

Los resultados de esta sección demuestran que las valoraciones globales, incluidas en el primer nivel, **no parecen ser muy sensibles a cambios en el diseño de la web**. La poca información aportada por dichas variables justifican la necesidad de disponer de información de mayor detalle, tal y como se describe en los resultados de las variables de nivel 2 de la sección 5.4.2.

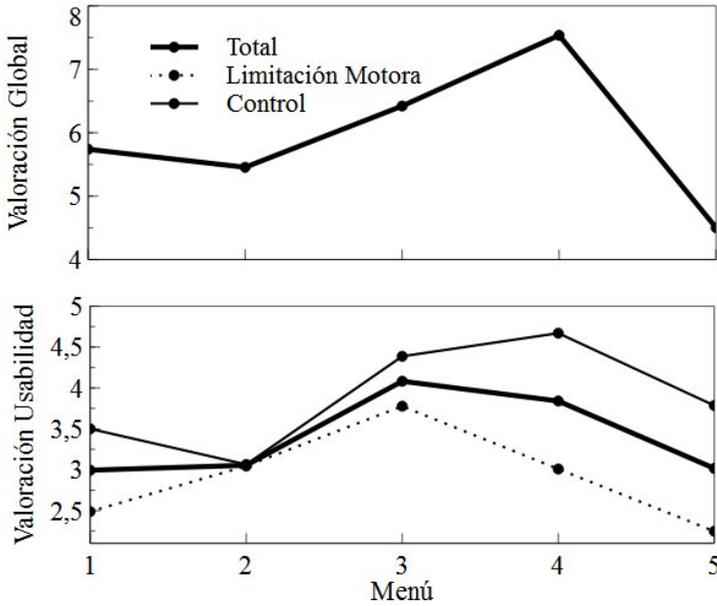


Figura 5.3: Medias marginales estimadas de la Valoración global de la web y la Valoración de usabilidad en función del tipo de menú y el perfil de usuario. Solo se muestran las cruvas de los grupos de usuarios significativos.

Menú (i)	Menú (j)	DM(i-j)	error	p
M1	M3	-1,08	0,306	0,006
M2	M3	-1,16	0,252	<0,001
M2	M4	-0,93	0,260	0,006
M5	M3	-0,94	0,306	0,028

(a) Total

LM	M (i)	M (j)	DM (i-j)	error	p
No	M2	M3	-1,323	0,401	0,028
No	M2	M4	-1,606	0,411	0,004

(b) Por perfil de usuario

Tabla 5.10: Análisis post-hoc mediante el método de Bonferroni de los valores de la Valoración global de la facilidad de uso para los distintos tipos de menús (M1-M5) y en función del perfil de usuario (Limitación Motora: LM). DM: Diferencia de medias; p: nivel de significación. Solo se muestran las diferencias significativas ($p < 0,05$).

5.4.2. Influencia de las recomendaciones en las variables Subjetivas Específicas: Nivel 2

A continuación, se muestran los resultados de las preguntas específicas del cuestionario, tal y como se resalta en la figura 5.4.

Las preguntas del cuestionario utilizado (ver anexo C) estaban altamente correlacionadas, por lo que se realizó un **análisis de componentes principales** (ACP).

Las preguntas 13 (“Fácil de usar”) y 21 (“Valoración global de la usabilidad”) no se incluyeron en el análisis debido a que son preguntas generales, y corresponden al Nivel 1, siendo las variable de salida del modelo. Además, la pregunta 15 (“Necesidad de aprender”) se sacó del análisis debido a que sus valores de correlación con las otras preguntas eran bajos y podían enmascarar los resultados. Por lo tanto, la pregunta 15 se consideró como una componente independiente.

El ACP redujo el conjunto original de 18 preguntas a cuatro componentes independientes (todas con valor propio mayor que 1) que explicaban el **78 % de la varianza**. Añadir dos componentes más (con valores propio por debajo de 1) solo permitía explicar un 4 % más de la varianza.

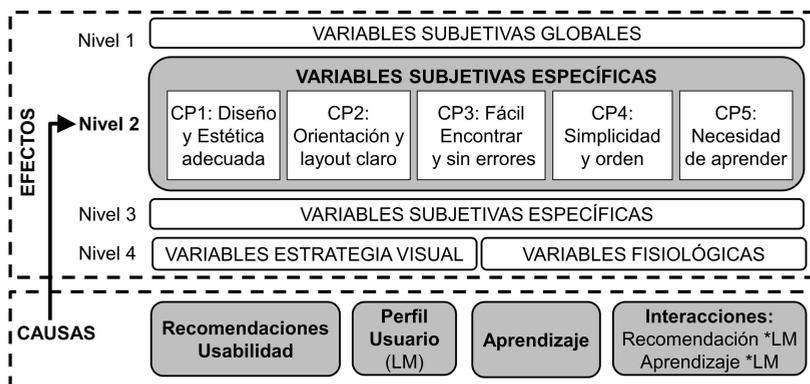


Figura 5.4: Estructura del modelo estadístico de 4 niveles del efecto de las recomendaciones de usabilidad y el perfil del usuario en las distintas variables para evaluar la usabilidad. Los cuadros sombreados muestran que el análisis se centra en la influencia de las causas sobre las variables de nivel 2.

Para facilitar la comprensión de las componentes, se eligieron las preguntas con mayor nivel de correlación con cada componente. En la tabla 5.11 se muestran las componentes seleccionadas y sus correlaciones con las preguntas originales.

A continuación, se detalla la interpretación de las **5 variables independientes** (4 componentes principales y la pregunta 15):

1. Componente 1 (CP1): Esta componente se correlaciona, principalmente, con 4 preguntas centradas en aspectos estéticos (P_18, P_17 y P_12) y de diseño (P_19). Por ello, la componente **CP1** se interpreta como **“Diseño y estética adecuados”**.
2. Componente 2 (CP2): Esta componente se correlaciona, principalmente, con disponer de elementos visibles para saber en la sección en la que nos encontramos (P_10) y de enlaces descriptivos para facilitar la orientación (P_7). Por ello, la componente **CP2** se interpreta como **“Orientación y layout claro”**.
3. Componente 3 (CP3): Esta componente se correlaciona, principalmente, con ser capaz de realizar las tareas sin errores (P_11) y encontrar la información y los elementos clave a primera vista (P_4, P_1). Por ello, la componente **CP3** se interpreta como **“Fácil de encontrar y sin errores”**.

Preguntas	CP1	CP2	CP3	CP4
P_18 : Estética adecuada	0.892			
P_17: Me gusta la estética	0.881			
P_19: Buen diseño	0.875			
P_12: Bonita de ver y usar.	0.827			
P_09: Salida de la sección clara	0.606	0.593		
P_10: Información de las sección	0.438	0.750		
P_07: Enlaces descriptivos		0.734		0.407
P_03: Cambio de las secciones claro		0.663	0.416	
P_05: Distribución de la web clara		0.622	0.516	
P_06: Información clara		0.595		
P_08: Mapa web comprensible		0.496		
P_11: Tareas sin errores			0.878	
P_04: Fácil de encontrar información			0.839	
P_01: Elementos claves a primera vista			0.831	
P_02: Coherencia de los elementos		0.415	0.515	0.430
P_16: Lectura de texto fácil				0.789
P_20: Simple				0.741
P_14: Confiado durante el uso			0.547	0.645

Tabla 5.11: Matriz de correlación de las componentes rotadas (método varimax con normalización Kaiser). Se han asignado conceptos abreviados que reflejan las preguntas del anexo C. En negrita se resaltan las preguntas que se han elegido para explicar cada componente.

Nivel 2	LM	Control
CP1	0,17 (1,02)	-0,19 (0,95)
CP2	-0,04 (0,99)	0,04 (1,02)
CP3	-0,49 (1,00)	0,52 (0,70)
CP4	-0,39 (1,02)	0,42 (0,80)
CP5	0,36 (1,18)	-0,34 (0,65)

Tabla 5.12: Medias y desviación estándar (d.e.) de las componentes principales, correspondientes a las variables de nivel 2, en función del perfil de usuario (LM: Limitación motora). La media del global de los usuarios no se muestra, ya que tienen media 0 y desviación 1 por ser una salida directa del análisis de componentes principales. La pregunta 15, que se corresponde con CP5, ha sido tipificada en esta tabla para facilitar su comparación. En lo sucesivo, los resultados que se muestran sobre CP5 son sin tipificar.

4. Componente 4 (CP4): Esta componente se correlaciona, principalmente, con disponer de textos fáciles de leer (P_16) y ser una web simple (P_20). Por ello, la componente **CP4** se interpreta como “**Simplicidad y lectura fácil**”.
5. Pregunta 15, relacionada con la “**Necesidad de aprender**”. A partir de ahora, se utilizará **CP5** para referirse a esta variable.

En la tabla 5.12 se describen los resultados del **análisis exploratorio** de las componentes principales. A la vista de los resultados, se comprueba que existen diferencias según el perfil de usuario. Los usuarios con limitación motora valoran peor “Fácil de encontrar y sin errores” y “Simplicidad y lectura fácil” (CP3 y CP4). En cambio, valoran mejor la “Estética y diseño adecuado” (CP1). Además, los **usuarios con limitación motora** tiene una percepción de **mayor necesidad de aprendizaje** (CP5) que los sujetos control (tabla 5.12).

En la tabla 5.13 se observa que las variables del nivel 2 se ven afectadas significativamente en mayor medida que las variables del nivel 1 (tabla 5.8). En concreto, las componentes principales permiten detectar el efecto de tres recomendaciones y dos interacciones con el perfil de usuario.

A continuación, se describe el efecto de las recomendaciones en cada una de las componentes principales.

Factor	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	
Recomendación	“Ir a inicio”	-	-	-	-	-
	“Ir arriba”	*	-	-	-	-
	“Mapa web”	*	-	-	-	-
	“Señalar y hacer clic”	-	-	-	-	-
	“Imagen de fondo”	-	-	-	-	-
	“Migas”	-	-	-	-	-
Aprendizaje	“Menú”	**	-	-	-	-
	Sesión	-	-	*	-	-
Influencia Usuario	Repetición	-	-	-	-	-
	Limitación Motora (LM)	-	-	***	***	**
	Sesión * LM	-	-	-	-	-
	Repetición * LM	-	-	-	-	-
	“Ir a inicio” * LM	-	-	-	-	-
	“Ir arriba” * LM	-	-	-	-	-
	“Mapa web” * LM	-	-	-	-	-
	“Señalar y hacer clic” * LM	-	-	-	-	-
	“Imagen de fondo” * LM	-	-	-	*	-
	“Migas” * LM	-	-	-	-	-
“Menú” * LM	*	-	-	**	*	

Tabla 5.1.3: Factores significativos del modelo ANOVA para las componentes principales (CPi). Diferencias significativas ($p < 0,05$): “_” $p > 0,05$; “*” $0,01 < p < 0,05$; “**” $0,001 < p < 0,01$; y “***” $p < 0,001$.

Menú (i)	Menú (j)	DM (i-j)	error	p
M1	M3	-1,127	0,281	0,001
M1	M4	-1,011	0,289	0,008

(a) CP1 Global

LM	M (i)	M (j)	DM(i-j)	error	p
No	M1	M3	-1,363	0,382	0,012
No	M1	M4	-1,583	0,399	0,003
No	M1	M5	-1,921	0,610	0,046

(b) CP1 por perfil de usuario

LM	M (i)	M (j)	DM(i-j)	error	p
Sí	M3	M5	1,739	0,488	0,012
Sí	M4	M5	1,760	0,491	0,011

(c) CP4 por perfil de usuario

Tabla 5.14: Análisis Post-Hoc mediante el método de Bonferroni de los valores de la componente principal CP1 (“Estética”) y CP4 (“Simplicidad y lectura fácil”) para los distintos tipos de menús (M1-M5) y en función del perfil de usuario (Limitación Motora: LM). DM: Diferencia de Medias; p: Nivel de significación. Solo se muestran las diferencias significativas ($p < 0,05$).

5.4.2.1. Componente CP1: Diseño y estética adecuada

Las recomendaciones de usabilidad “Ir arriba”, “Mapa web” y “Menú” tienen una influencia significativa sobre la componente CP1, relacionada con aspectos estéticos. Además, la interacción de la limitación motora con la recomendación “Menú” también tiene una influencia significativa.

En concreto, las recomendaciones “Ir arriba” y “Mapa Web” provocan un aumento en la valoración de la estética, coincidiendo con las actuales recomendaciones de expertos.

En cuanto a los menús, en la figura 5.5 se observa que los menús 3 y 4, y el menú 1 son los que provocan mayor y menor valoración estética respectivamente. Las pruebas post-hoc muestran diferencias significativas entre ambos grupos (tabla 5.14a).

Los resultados varían en función del **perfil de usuario** (figura 5.5), en línea con la hipótesis 2. En concreto, el tipo de menú influye en la valoración estética (CP1) de los sujetos control, siendo el menú 1 el que menos contribuye

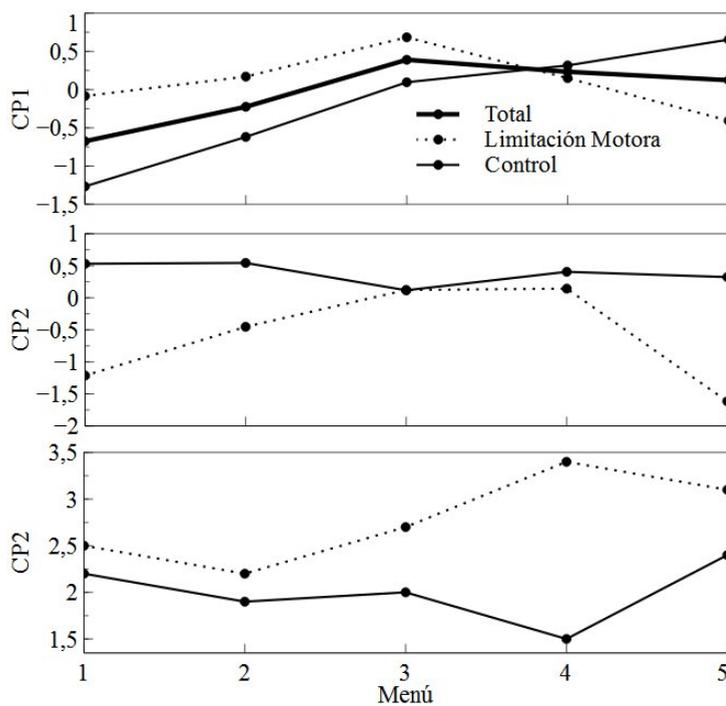


Figura 5.5: Medias marginales estimadas de las componentes principales CP1, CP4 y CP5 en función del tipo de menú y el perfil de usuario. Solo se muestran las curvas correspondientes a los grupos de usuarios que presentan diferencias significativas.

a la estética, en contraposición a los menús 3, 4 y 5 (tabla 5.14b). En cambio, el tipo de menú no tiene ningún efecto en la valoración estética para los sujetos con limitación motora.

5.4.2.2. Componente CP2: Orientación y layout claro

No existe ninguna influencia significativa en la componente principal CP2, que está relacionada con disponer de una orientación y un esquema claro. Esto se puede deber a que la estructura y contenido de la web es común a todos los estilos web desarrollados.

5.4.2.3. Componente CP3: Fácil de encontrar y sin errores

Al igual que en el caso de la componente CP2, ninguna recomendación web influye significativamente sobre la componente CP3, relacionada con facilidad para encontrar las cosas. No obstante, la presencia de la limitación motora y la sesión influye significativamente en esta componente. En concreto, la valoración de la facilidad de encontrar disminuye para los sujetos con limitación motora, resultado que resalta sus problemas para encontrar la información y que se ven más perjudicados de un diseño no adecuado.

En cuanto a la evolución a lo largo de las sesiones, se observa que la valoración de CP3 aumenta entre la primera y la tercera sesión.

5.4.2.4. Componente CP4: Simplicidad y lectura fácil

Solo la recomendación “Ir a inicio” está en el límite de la significación ($p=0,054$). No obstante, se han encontrado diferencias significativas en la interacción de la limitación motora con la existencia de “Imagen de fondo” y el tipo de menú, en línea con la hipótesis 2. En concreto, la presencia de “Imagen de fondo” disminuye la simplicidad para los usuarios control, coincidiendo con las recomendaciones de experto, pero sin ningún efecto para los usuarios con limitación motora.

En el caso de los menús, la figura 5.5 muestra que los menús 3 y 4 mejoran la sencillez para los sujetos con limitación motora, mientras que los menús 1 y 5 la empeoran. En cambio, no existen prácticamente diferencias para los sujetos control, si bien el menú 3 sería el que menos contribuye a la sencillez.

Las pruebas post-hoc revelan que solo existen diferencias significativas entre los menús 3 y 4, y el menú 5 para los sujetos con limitación motora (tabla 5.14c).

5.4.2.5. Componente CP5: Necesidad de aprender

Al igual que ocurre en los casos anteriores, la presencia de la limitación motora también influye significativamente en la componente principal CP5, relacionada con la necesidad de aprender, aumentando la necesidad de aprender para los sujetos con limitación motora.

El efecto de los menús en la necesidad de aprender varía en función del perfil de usuario, siendo los usuarios con limitación motora los que más necesitan aprender con independencia del tipo de menú. A primera vista, en la figura 5.5 se observa que los menús 2 y 4 se asocian a una menor y una mayor necesidad de aprender respectivamente, en el caso de los sujetos con limitación motora. Mientras que el menú 4 es el que menor necesidad de aprender provoca en los usuarios control (figura 5.5).

Sin embargo, las pruebas post-hoc no muestran diferencias significativas para ninguno de los dos grupos de usuarios.

5.4.2.6. Resumen resultados del nivel 2

Los resultados obtenidos resaltan que disponer de la opinión del usuario con un mayor nivel de detalle, nivel 2, proporciona mayor información sobre el efecto de las recomendaciones que las variables de nivel 1. Estos beneficios se observan, especialmente, cuando se analizan las diferencias en función del perfil de usuario.

No obstante, los resultados obtenidos mediante la opinión del usuario **no permiten detectar el efecto de muchas de las recomendaciones** de usabilidad ni su interacción con el perfil de usuario. Esto justifica la necesidad de disponer de información objetiva y cuantitativa, tal y como se muestra en los resultados de las variables de nivel 3 de la sección 5.4.3.

Por último, atendiendo a los altos niveles de correlación de las preguntas, en un futuro, sería necesario **plantear un cuestionario más reducido** y que el usuario pueda responder rápidamente. Por ejemplo, se deberían utilizar preguntas que reflejen el concepto asociado a cada una de las componentes principales.

5.4.3. Influencia de las recomendaciones en las variables objetivas tradicionales: Nivel 3

A continuación, se muestran los resultados de las variables del nivel 3, tal y como se resalta en la figura 5.6. Las variables de nivel 3 corresponden con las variables tradicionales objetivas, ya sean cuantitativas, como el tiempo

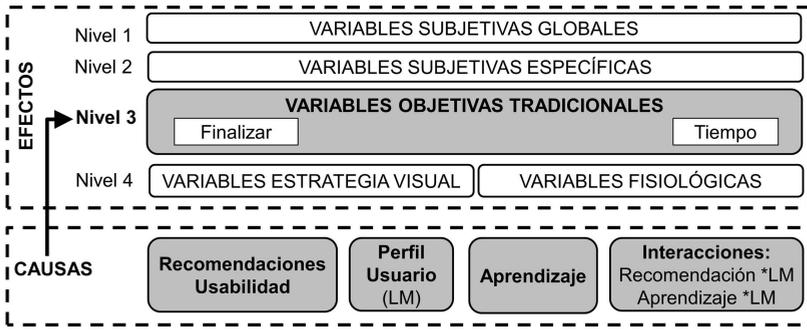


Figura 5.6: Estructura del modelo estadístico de 4 niveles del efecto de las recomendaciones de usabilidad y el perfil del usuario en las distintas variables para evaluar la usabilidad. Los cuadros sombreados muestran que el análisis se centra en la influencia de las causas sobre las variables de nivel 3.

	Nivel 3	Global	LM	Control
Duración Tarea	5,87 (3,17)	7,30 (3,31)	4,59 (2,41)	

Tabla 5.15: Media y desviación estándar (d.e) de la duración de la tarea por perfil de usuario (LM: Limitación motora).

empleado para finalizar la tarea, como cualitativas, si el usuario ha finalizado o no la tarea. La primera de ellas está relacionada con la eficacia y la segunda con la eficiencia.

El **análisis exploratorio** muestra que la mayoría de usuarios son capaces de finalizar con éxito los distintos objetivos, tal y como se observa en la figura 5.7. Sin embargo, los **usuarios con limitación motora han tenido más dificultades** que los sujetos control (figura 5.7). A esta dificultad, se le añade que los usuarios con limitación motora precisan más tiempo para alcanzar los distintos objetivos (tabla 5.15). Ambos resultados ponen de manifiesto que la falta de adecuación del diseño de la web afecta más a los usuarios con limitación motora.

En la tabla 5.16 se observa que la finalización de la tarea y el tiempo empleado **permiten detectar un mayor número de efectos** de las recomendaciones que las variables de nivel 1 y 2, especialmente la variable tiempo.

Como se ha explicado en el análisis exploratorio, la mayoría de usuarios son capaces de finalizar las tareas. Solo existe cierta variabilidad en el caso de los usuarios con limitación motora (figura 5.7). Por ello, los resultados

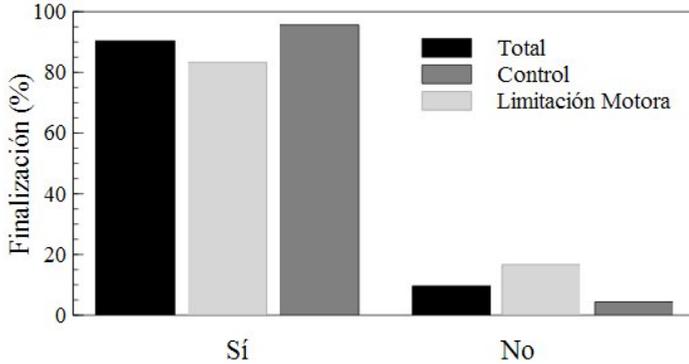


Figura 5.7: Distribución de la finalización de los objetivos para el conjunto de usuarios y por perfil de usuario.

relacionados con la finalización de la tarea, que se presentan en esta sección, se han centrado en los usuarios con limitación motora.

5.4.3.1. Finalización de la tarea

En la tabla 5.17a se muestra que los usuarios con limitación motora tienen más problemas para finalizar la tarea que los sujetos control, siendo significativo el perfil de usuario ($p < 0,001$).

La finalización de la tarea depende de la presencia de las recomendaciones “Ir a inicio” ($p < 0,001$) y “Migas” ($p = 0,003$). Ambas contribuyen positivamente a la finalización de la tarea (tablas 5.17b y 5.17c), en consonancia con las recomendaciones de experto.

En cambio, las recomendaciones “Ir arriba”, “Mapa web”, “Señalar y hacer clic”, “Imagen de fondo” y el tipo de menú no tienen una influencia en la finalización de la tarea. Si bien, el Mapa web se encuentra en el límite de la significación ($p = 0,058$).

El número de usuarios con limitación motora que finaliza la tarea aumenta a lo largo de las sesiones (tabla 5.17d) y repeticiones (tabla 5.17e). El aprendizaje para este grupo de usuarios resulta evidente, tal y como se muestra en la figura 5.8.

Factor		Finalización	Duración
Recomendaciones	“Ir a inicio”	***	-
	“Ir arriba”	-	-
	“Mapa web”	-	-
	“Señalar y hacer clic”	-	**
	“Imagen de fondo”	-	*
	“Migas”	**	-
	“Menú”	-	***
Aprendizaje	Sesión	***	***
	Repetición	***	***
Influencia usuario	Limitación Motora (LM)	***	***
	Sesión*LM		*
	Repetición*LM		-
	“Ir a inicio”*LM		**
	“Ir arriba”*LM		***
	“Mapa web”*LM	No aplica	***
	“Señalar y hacer clic”*LM		-
	“Imagen de fondo”*LM		*
	“Migas”*LM		***
	“Menú”*LM		***

Tabla 5.16: Factores significativos del modelo ANOVA para la duración de la tareas y del análisis de contingencia para la finalización de la tarea. Diferencias significativas ($p < 0,05$): “-” $p > 0,05$; “*” $0,01 < p < 0,05$; “**” $0,001 < p < 0,01$; y “***” $p < 0,001$.

Finalización	Limitación Motora	
	No	Sí
No	38 (4 %)	108 (17 %)
Sí	834 (96 %)	540 (83 %)

(a) Perfil de usuario

Finalización	Ir a inicio	
	No	Sí
No	78 (22 %)	30 (10 %)
Sí	273 (78 %)	267 (90 %)

(b) Ir a inicio

Finalización	Migas	
	No	Sí
No	59 (22 %)	49 (13 %)
Sí	211 (78 %)	329 (87 %)

(c) Migas

Finalización	Sesión		
	1	2	3
No	62 (29 %)	28 (13 %)	18 (8 %)
Sí	154 (71 %)	188 (87 %)	198 (92 %)

(d) Sesión

Finalización	Repetición		
	1	2	3
No	54 (25 %)	31 (14 %)	23 (11 %)
Sí	162 (75 %)	185 (86 %)	193 (89 %)

(e) Repetición

Tabla 5.17: Tablas de contingencia de la finalización de la tarea. Entre paréntesis se muestra el porcentaje por columnas. Los resultados se limitan a usuarios con limitación motora. Solo se muestran los resultados de los factores significativos ($p < 0,05$).

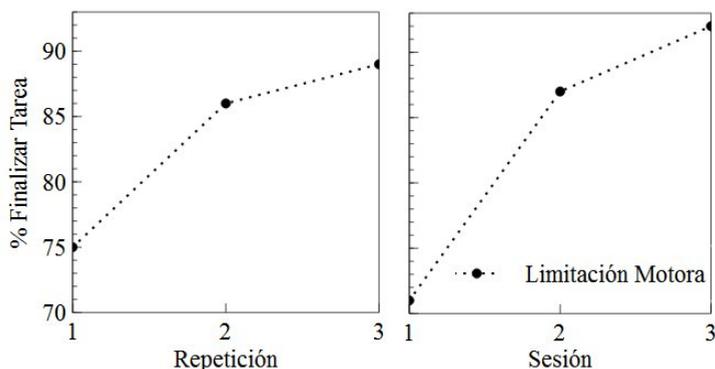


Figura 5.8: Porcentaje de éxito en la finalización de la tarea para los usuarios con limitación motora a lo largo de las sesiones y repeticiones. Solo se muestran las curvas correspondientes a los grupos de usuarios que presentan diferencias significativas.

5.4.3.2. Duración de la tarea

El tiempo empleado para finalizar la tarea depende de las recomendaciones “Señalar y hacer clic” ($p=0,001$), “Imagen de fondo” ($p=0,012$) y “Menú”; la presencia de limitación motora; y de la evolución a lo largo de las repeticiones y sesiones (tabla 5.16).

Además, la interacción entre la limitación motora y todas las recomendaciones (excepto “Señalar y hacer clic”) y la sesión también muestran diferencias (tabla 5.16). Hecho que resalta las diferencias existentes en función del perfil de usuario, en línea con la hipótesis 2.

La presencia de “Señalar y hacer clic” e “Imagen de fondo” incrementa el tiempo empleado para finalizar las tareas. Situación que contradice las recomendaciones de experto para la primera recomendación, en línea con la hipótesis 1.

En la figura 5.9a se aprecia que existen tres grupos de menús: 1, 2-5 y 3-4. En concreto, el menú 1y el menú 2 son los que permiten realizar las tareas empleando menor y mayor tiempo respectivamente (tabla 5.18a).

En relación con el **aprendizaje**, en la figura 5.9b se observa que el tiempo empleado para finalizar las tareas disminuye a lo largo de las sesiones y repeticiones, existiendo diferencias entre todas las sesiones (tabla 5.18b) y repeticiones (tabla 5.18c).

M (i)	M (j)	DM (i-j)	error	p
M1	M2	-0,434	0,061	<0,001
M1	M4	-0,275	0,060	<0,001
M1	M5	-0,253	0,069	0,002
M2	M3	0,320	0,048	<0,001
M2	M4	0,159	0,049	0,012
M2	M5	0,181	0,060	0,024
M3	M4	-0,160	0,048	0,008

(a) Menú

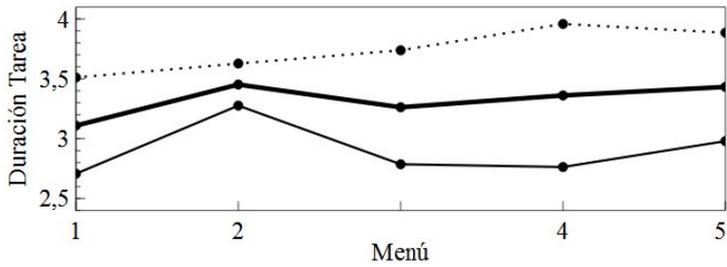
S (i)	S (j)	DM (i-j)	error	p
S1	S2	0,511	0,042	<0,001
S1	S3	0,712	0,042	<0,001
S2	S3	0,201	0,042	<0,001

(b) Sesiones

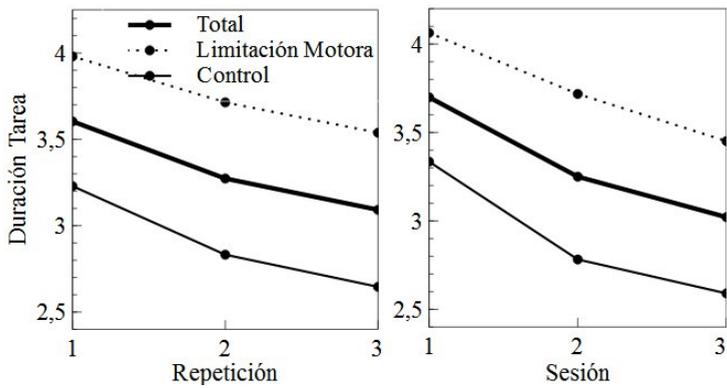
R (i)	R (j)	DM (i-j)	error	p
R1	R2	0,335	0,042	<0,001
R1	R3	0,517	0,042	<0,001
R2	R3	0,182	0,042	<0,001

(c) Repeticiones

Tabla 5.18: Análisis post-hoc mediante el método de Bonferroni de la duración de la tarea en función del tipo de menú (M1-M5), las sesiones (S1-S3) y repeticiones (R1-R3). DM: Diferencia de medias; p: nivel de significación. Solo se muestran las diferencias significativas ($p < 0,05$).



(a) Menús



(b) Sesión y repetición

Figura 5.9: Medias marginales estimadas de la duración de la tarea para los distintos tipos de menú, y a lo largo de las sesiones y repeticiones en función del perfil de usuario

Los resultados anteriores varían en función del **perfil de usuario**, siendo los usuarios con limitación motora los que necesitan más tiempo para realizar las tareas.

En la tabla 5.19 se observa que la presencia de “Imagen de fondo”, “Ir a inicio” y “Mapa web” sólo influye a los usuarios control, incrementando el tiempo de realización de la tarea. Estos resultados contradicen las actuales recomendaciones de experto, las cuales destacan la necesidad de disponer de las opciones “Ir a inicio” y “Mapa web”.

En cambio, “Ir arriba” y “Migas” incrementan el tiempo para los sujetos control, mientras que lo disminuye para los usuarios con limitación motora (tabla 5.19), poniendo de relieve que la adecuación de las recomendaciones depende del tipo de usuario, en línea con la hipótesis 2.

En el caso de los menús, el tiempo empleado por los usuarios con limitación motora es mayor que los sujetos control con independencia del tipo de menú (figura 5.9a). Además, se encuentran diferencias entre distintos menús en función del perfil de usuario (tabla 5.19), siendo el menú 2 y el menú 5 los que provocan mayor incremento en la duración de la tarea para los sujetos control y con limitación motora, respectivamente.

Por último, el tiempo empleado por los usuarios con limitación motora es mayor que los sujetos control a lo largo de todas las sesiones y repeticiones, como ya se ha visto gráficamente en la figura 5.9b.

No obstante, se observa que si bien el aprendizaje de los sujetos control parece reducirse a partir de la segunda sesión, los sujetos con limitación motora continúan reduciendo el tiempo necesario para finalizar las tareas a lo largo de las sesiones. Se puede suponer que si dispusieran de más sesiones, sus valores se acercarían a los de los sujetos control.

Las pruebas post-hoc muestran diferencias significativas entre todas las sesiones para ambos perfiles de usuario (tabla 5.19).

5.4.3.3. Resumen resultados de las variables de nivel 3

Los resultados proporcionados por la variable finalización de la tarea no son óptimos, especialmente para los sujetos control. En cambio, el tiempo empleado para finalizar la tarea es más sensible a la presencia o ausencia de las recomendaciones de usabilidad. Además, se ha observado que la adecuación de la recomendaciones **depende del perfil de usuario**.

Disponer de información objetiva, aunque sea mediante variables tradicionales, proporciona una **mayor información** sobre los efectos de las recomendaciones de usabilidad que las variables subjetivas.

LM	M (i)	M (j)	DM (i-j)	error	p
No	P1 (X)	P1 (-)	0,216	0,066	0,002
Sí	P2 (X)	P2 (-)	-0,200	0,057	<0,001
No	P2 (X)	P2 (-)	0,174	0,051	0,002
No	P3 (X)	P3 (-)	0,224	0,050	<0,001
No	P5 (X)	P5 (-)	0,171	0,050	0,001
Sí	P6 (X)	P6 (-)	-0,146	0,058	0,023
No	P6 (X)	P6 (-)	0,222	0,052	<0,001
Sí	M1	M4	-0,447	0,097	<0,001
Sí	M1	M5	-0,374	0,118	<0,032
Sí	M2	M4	-0,331	0,077	<0,001
No	M1	M2	-0,569	0,088	<0,001
No	M2	M3	0,490	0,088	<0,001
No	M2	M4	0,513	0,080	<0,001
No	M2	M5	0,297	0,097	0,043
Sí	S1	S2	0,345	0,067	<0,001
Sí	S1	S3	0,612	0,065	<0,001
Sí	S2	S3	0,267	0,067	<0,001
No	S1	S2	0,553	0,060	<0,001
No	S1	S3	0,745	0,060	<0,001
No	S2	S3	0,192	0,059	0,007

Tabla 5.19: Análisis Post-Hoc mediante el método de Bonferroni de los valores de la duración de la tarea para la interacción de los factores con la presencia de limitación motora (LM). Presencia (X) o ausencia (-) de las recomendaciones de usabilidad (P1: “Ir a inicio”; P2: “Ir arriba”; P3: “Mapa web”; P5: “Imagen de fondo”; P6: “Migas”). Excepto para el tipo de menú (M1-M5) y la sesión (S1-S3). DM: Diferencia de medias; p: nivel de significación. Solo se muestran las diferencias significativas ($p < 0,05$).

Sin embargo, estudios previos [61] muestran que el **tiempo empleado en la realización de una tarea no es la mejor variable para evaluar la eficiencia** ya que otras variables que analizan el comportamiento aportan más información, especialmente en el caso de personas mayores o personas con discapacidad.

Esta limitación justifica la necesidad de utilizar otras variables relacionadas con los procesos internos que se generan en el usuario, tanto desde la perspectiva del estado emocional como desde la del comportamiento. Las secciones 5.4.4 y 5.4.5, centradas sobre las variables de nivel 4, cubren dicha necesidad.

5.4.4. Influencia de las recomendaciones en las variables de nivel 4: Respuesta fisiológica

A continuación, se muestran los resultados de las variables de nivel 4, derivadas de metodologías innovadoras, que nos permiten extraer en tiempo real, y sin interferir en la interacción con el usuario, información objetiva y cuantitativa sobre los problemas de interacción con la web.

En la figura 5.10 se describe un esquema del papel de las variables fisiológicas en el modelo causa- efecto seguido en esta Tesis. Este conjunto de variables están relacionadas con la **eficiencia** (carga cognitiva, estrés, etc.) y la **satisfacción** (respuesta a estímulos estéticos):

- Conductividad de la piel (GSR) y variabilidad del ritmo cardíaco (HRV): Estas variables están relacionadas directamente e inversamente con el nivel de intensidad emocional, como respuesta a un estímulo concreto. Además, también se relacionan con altos niveles de carga cognitiva o situaciones de estrés.
- Nivel de actividad muscular del corrugador (EMGc) y del zigomático (EMGz): Estas variables están relacionadas con la valencia negativa y positiva de la respuesta a un estímulo concreto. Además, en el caso de la actividad sobre el corrugador superciliar, también se asocia a niveles altos de carga cognitiva.

Nivel 4	Global	Limitación Motora	Control
HRV	16,793 (11,283)	14,880 (10,340)	18,510 (11,810)
GSR	0,042 (3,565)	0,581 (5,020)	-0,440 (1,030)
EMGc	0,578 (0,959)	0,763 (1,230)	0,413 (0,579)
EMGz	-0,032 (0,855)	0,124 (1,135)	-0,172 (0,441)

Tabla 5.20: Media y desviación estándar (d.e.) de las variables fisiológicas de nivel 4 por perfil de usuario. Las variables GSR, EMGc y EMGz son adimensionales ya que están normalizadas respecto al basal. La variable HRV indica, en muestras, la variabilidad de la distancia entre latidos, para una frecuencia de muestreo de 250 Hz.

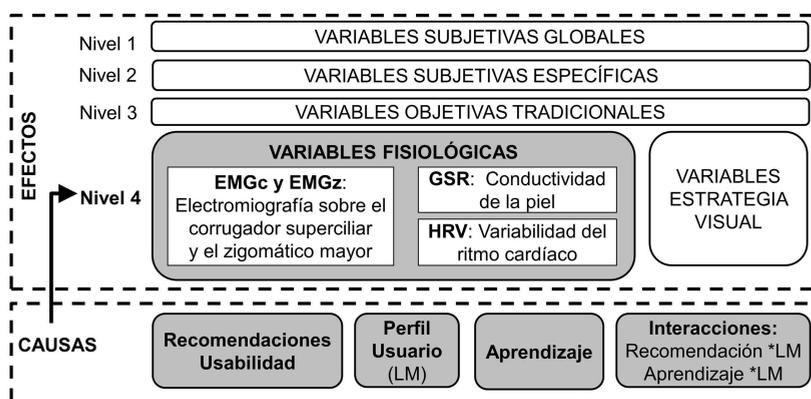


Figura 5.10: Estructura del modelo estadístico de 4 niveles del efecto de las recomendaciones de usabilidad y el perfil del usuario en las distintas variables para evaluar la usabilidad. Los cuadros sombreados muestran que el análisis se centra en la influencia de las causas sobre las variables de nivel 4, en concreto, sobre las variables fisiológicas.

El **análisis exploratorio** muestra que **las emociones negativas**, asociadas a la actividad del músculo corrugador, aparecen con **mayor intensidad que las emociones positivas**, asociadas a la actividad del músculo zigomático, tal y como se detalla en la tabla 5.20.

Si se analizan las diferencias en función del perfil de usuario se observa que las emociones, ya sean positivas (EMGz) o negativas (EMGc), aparecen con mayor intensidad para los sujetos con limitación motora (tabla 5.20). Además, el nivel de intensidad emocional también es mayor para dicho grupo, ya que

genera mayores niveles de conductividad de la piel y una menor variabilidad del ritmo cardíaco. Ambos resultados sugieren que la realización de las tareas tiene un **mayor impacto en la respuesta fisiológica de los usuarios con limitación motora**, y por lo tanto, en su respuesta emocional.

En la tabla 5.21 se puede comprobar que las variables fisiológicas **permiten detectar un mayor número de efectos** de las recomendaciones y del perfil de usuario que las variables de los anteriores niveles. Además, el nivel de significación es mayor, siendo el máximo contemplado ($p < 0,001$) en la mayoría de los casos. Por lo que aportan mayor información sobre la interacción del usuario con la web que las variables tradicionales, apoyando la hipótesis 3.

A continuación, se detallan los resultados para cada una de las variables fisiológicas.

5.4.4.1. Conductividad de la piel: GSR

El nivel de GSR varía significativamente en función de las recomendaciones “Migas” ($p=0,020$), “Imagen de fondo” ($p=0,003$) y “Menú”, la presencia de limitación motora y la sesión. Además, dichas variaciones dependen del perfil de usuario tanto para las recomendaciones anteriores como para la sesión (tabla 5.21).

La presencia de “Migas” disminuye la GSR y la presencia de “Imagen de Fondo” la incrementa, en línea con las actuales recomendaciones de experto. Además, los análisis post-hoc revelan que existen 3 grupos de menús, tal y como se muestra en la figura 5.11a. En concreto, existen diferencias significativas entre el menú 3 y los menús 1, 2 y 5; y entre el menú 4 y los menús 2 y 5 (tabla 5.22a).

En cuanto al **aprendizaje**, la figura 5.11b muestra que la GSR disminuye a lo largo de las sesiones, existiendo diferencias significativas entre la primera sesión y las otras dos (tabla 5.22b).

Los resultados anteriores dependen del **perfil de usuario** como se observa en la tabla 5.22c. La GSR solo decrece para los usuarios con limitación motora ante la presencia de “Migas” y la ausencia de “Imagen de Fondo”. Por lo tanto, dichas recomendaciones solo reducen el nivel de carga cognitiva o intensidad emocional para los usuarios con limitación motora, en línea con la hipótesis 2.

En la figura 5.11a se observa que existe poca variación de la GSR en función del tipo de menú para los sujetos control. En cambio, la respuesta de los usuarios con limitación motora obedece a dos patrones distintos: uno con altos valores de GSR, menús 3 y 4; y otro con valores bajos, menús 1, 2 y 5 (tabla 5.22c). Estos resultados ponen otra vez de relieve el distinto impacto que tienen las recomendaciones en función del perfil de usuario.

Factor	GSR	EMGc	EMGz	HRV
Recomendación	“Ir inicio”	-	-	-
	“Ir arriba”	-	*	-
	“Mapa web”	-	-	-
	“Señalar y hacer clic”	-	-	*
	“Imagen de fondo”	**	*	-
	“Migas”	*	***	-
Aprendizaje	“Menú”	***	***	***
	Sesión	***	*	***
Influencia usuario	Repetición	-	*	***
	Limitación Motora (LM)	***	***	***
	Sesión * LM	***	***	-
	Repetición * LM	-	*	***
	“Ir a inicio” * LM	-	***	-
	“Ir arriba” * LM	-	***	*
	“Mapa web” * LM	-	-	-
	“Señalar y hacer clic” * LM	-	-	***
	“Imagen de fondo” * LM	***	***	***
	“Migas” * LM	*	***	-
“Menú” * LM	***	***	**	

Tabla 5.21: Factores significativos de los modelos ANOVA para las variables fisiológicas. Diferencias significativas ($p < 0,05$): “-” $p > 0,05$; “*” $0,01 < p < 0,05$; “**” $0,001 < p < 0,01$; y “***” $p < 0,001$.

M (i)	M(j)	DM (i-j)	error	p
M1	M3	-0,994	0,300	0,009
M2	M3	-1,473	0,245	<0,001
M2	M4	-0,837	0,249	0,008
M3	M5	1,195	0,295	<0,001
M4	M5	0,884	0,299	0,031

(a) Menús

S (i)	S (j)	DM (i-j)	error	p
S1	S2	1,503	0,214	<0,001
S1	S3	1,680	0,211	<0,001

(b) Sesión

LM	Factor (i)	Factor (j)	DM (i-j)	error	p
Sí	P5 (X)	P5 (-)	1,144	0,290	<0,001
Sí	P6 (X)	P6 (-)	-0,921	0,294	<0,001
Sí	M1	M3	-2,132	0,530	<0,001
Sí	M1	M4	-1,967	0,487	<0,001
Sí	M2	M3	-1,821	0,442	<0,001
Sí	M2	M4	-1,656	0,389	<0,001
Sí	M3	M5	2,746	0,559	<0,001
Sí	M4	M5	2,581	0,518	<0,001
Sí	S1	S2	2,393	0,335	<0,001
Sí	S1	S3	2,627	0,327	<0,001

(c) Interacción con perfil de usuario

Tabla 5.22: Análisis Post-Hoc mediante el método de Bonferroni de los valores de GSR para los menús (M), sesión (S) y la interacción de primer orden con el perfil de usuario (presencia de limitación motora: LM) y el resto de factores. Presencia (X) o ausencia (-) de las recomendaciones (P5: “Imagen de fondo”; P6: “Migas”). Excepto para el tipo de menú (M1-M5) y número de la sesión (S1-S3). DM: Diferencia de Medias; p: nivel de significación. Solo se muestran las diferencias significativas ($p < 0,05$).

En relación al proceso de aprendizaje, la GSR disminuye a lo largo de las sesiones en mayor medida para los usuarios con limitación motora, tal y como se observa en la figura 5.11b). De hecho, solo existen diferencias significativas entre la primera sesión y las dos restantes para los usuarios con limitación motora (tabla 5.22c). Esto indica que, aunque los usuarios con limitación motora parten de niveles de intensidad emocional más altos, se van reduciendo con el aprendizaje.

5.4.4.2. Variabilidad del ritmo cardíaco: HRV

El HRV depende de las recomendaciones “Imagen de fondo” y “Menú”; el perfil de usuario, y las sesiones y repeticiones (tabla 5.21). Además, el impacto sobre el HRV varía de forma distinta en función del perfil de usuario para las recomendaciones “Ir a inicio”, “Ir arriba” ($p=0,039$), “Señalar y hacer clic” y “Menú” (tabla 5.21).

La presencia de “Imagen de fondo” disminuye el HRV, aumentando el nivel de intensidad emocional, en consistencia con las recomendaciones de experto de no utilizar imágenes de fondo.

A primera vista, en la figura 5.11a parece que existen dos grupos de menús. En concreto, se han encontrado diferencias entre los menús 3 y 4 y los menús 1 y 2; y entre el menú 2 y el menú 5 (tabla 5.23a).

En la figura 5.11b se muestra la evolución del proceso de adaptación y **aprendizaje**. El HRV aumenta a lo largo de las repeticiones y se comparte de forma extraña a lo largo de las sesiones, disminuyendo en primera instancia para luego aumentar. Se han encontrado diferencias significativas entre la segunda sesión y las otras dos (tabla 5.23b), y entre la primera repetición y las dos siguientes (tabla 5.23c).

Los resultados anteriores varían significativamente en función del **perfil de usuario**, tal y como se detalla en la tabla 5.23d. La presencia de “Ir a inicio” aumenta el HRV para los usuarios con limitación motora, mientras que lo reduce para los sujetos control. Esto pone de manifiesto la utilidad de las recomendaciones en función del perfil de usuario, ya que reduce el nivel de estrés en los usuarios con limitación motora y lo aumenta en los sujetos control, corroborando la hipótesis 2.

En la misma línea, la presencia “Señalar y hacer clic” disminuye el HRV para los sujetos control, aumentando el nivel de estrés, en contra de las recomendaciones de experto.

En cambio, a pesar de que la interacción con la recomendación “Ir arriba” es significativa, no modifica el HRV para ninguno de los grupos de usuarios.

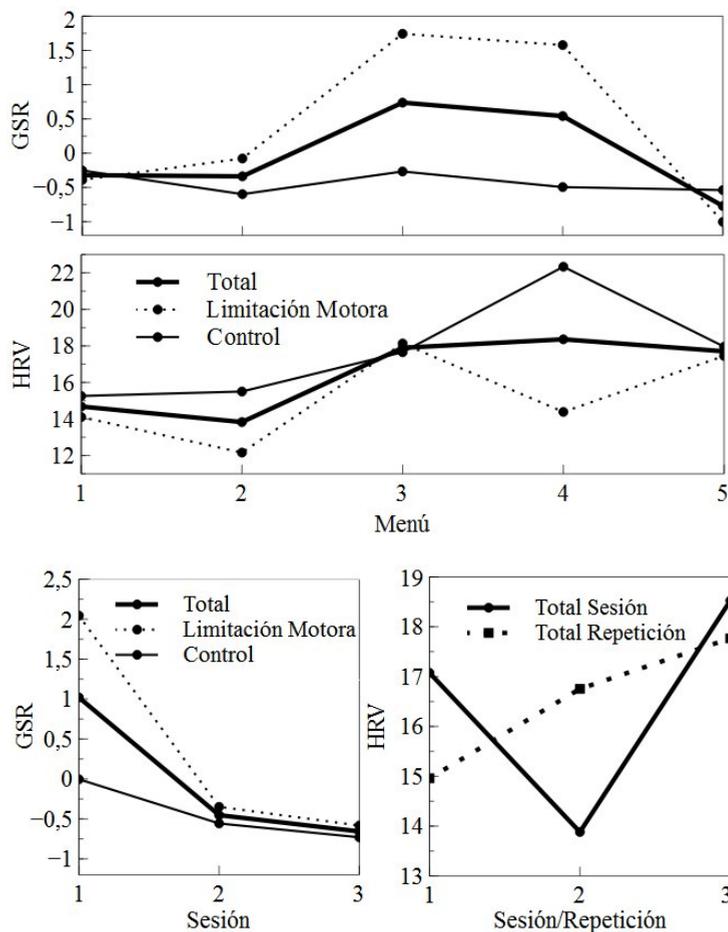


Figura 5.11: Medias marginales estimadas de la GSR y HRV para los menús, sesiones y repeticiones, en función del perfil de usuario. Solo se muestran las curvas correspondientes a los grupos de usuarios que presentan diferencias significativas.

M (i)	M (j)	DM (i-j)	error	p
M1	M3	-3,202	0,959	0,009
M1	M4	-3,937	0,971	<0,001
M2	M3	-3,728	0,782	<0,001
M2	M4	-4,463	0,797	<0,001
M2	M5	-3,110	0,965	0,013

(a) Menú

S (i)	S (j)	DM (i-j)	error	p
S1	S2	2,914	0,685	<0,001
S3	S2	4,488	0,677	<0,001

(b) Sesión (S)

R (i)	R (j)	DM (i-j)	error	p
R1	R2	-1,789	0,679	0,025
R1	R3	-2,801	0,679	<0,001

(c) Repetición (R)

LM	Factor (i)	Factor (j)	DM (i-j)	error	p
Sí	P1(X)	P1(-)	4,974	1,152	<0,001
No	P1(X)	P1(-)	-3,398	1,064	0,003
No	P4(X)	P4(-)	-2,813	0,853	0,002
Sí	M2	M3	-5,972	1,414	<0,001
Sí	M2	M5	-5,291	1,667	0,003
No	M1	M4	-7,075	1,315	<0,001
No	M2	M4	-6,832	1,291	<0,001
No	M3	M4	-4,679	1,308	0,007

(d) Interacción con perfil de usuario

Tabla 5.23: Análisis post-hoc mediante el método de Bonferroni del HRV en función del menú (M), la sesión (S) y la repetición (R); y la interacción de los factores con el perfil de usuario (LM: Limitación motora). Presencia (X) o ausencia (-) de las recomendaciones de usabilidad (P1: “Ir a inicio”; P4: “Señalar y hacer clic”). Excepto para el tipo de menú (M1-M5). DM: Diferencia de medias, p: nivel de significación. Solo se muestran las diferencias significativas ($p < 0,05$).

En la figura 5.11a, a simple vista se observa que el menú 4 es el mejor para los sujetos control, y el menú 2 es el peor para los sujetos con limitación motora. En concreto, las pruebas post-hoc revelan que el menú 4 aumenta el HRV con respecto al resto de menús en el caso de los sujetos control (tabla 5.23d). Mientras que los menús 3 y 5 provocan mayores valores de HRV que el menú 2 para los sujetos con limitación motora (tabla 5.23d).

5.4.4.3. Electromiografía sobre el zigomático mayor: EMGz

La amplitud de la señal de EMGz depende de las recomendaciones “Ir arriba” ($p=0,011$), “Señalar y hacer clic” ($p=0,028$) y “Menú” ($p=0,009$); el perfil de usuario; y las sesiones y repeticiones. Además, el efecto de algunos factores sobre esta variable cambia en función del perfil de usuario. Así sucede en el caso de las recomendaciones “Imagen de fondo” y “Menú” ($p=0,009$); y las sesiones y repeticiones (tabla 5.21).

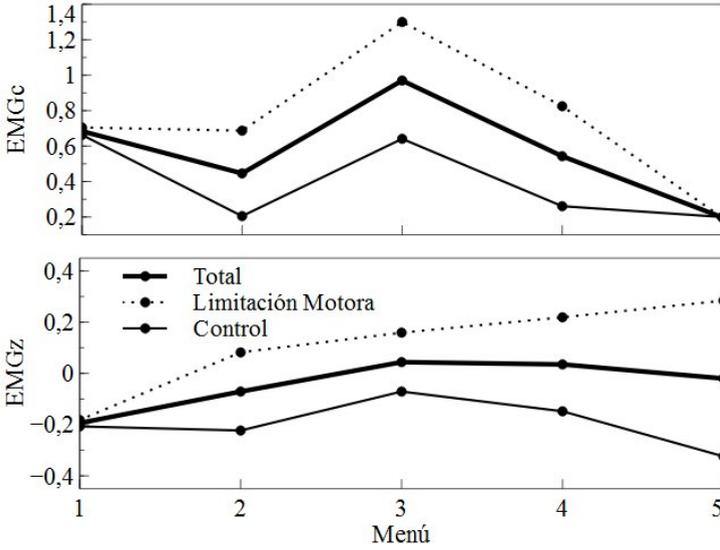
La presencia de “Señalar y hacer clic” incrementa la EMGz, relacionado con un aumento de la satisfacción, en consistencia con las recomendaciones de experto. En cambio, “Ir arriba” disminuye la EMGz, en contraposición a las recomendaciones de experto y reforzando la hipótesis 1.

En cuanto al tipo de menú, las pruebas post-hoc muestran diferencias significativas entre el menú 1 y los menús 3 y 4 (tabla 5.24a). En la figura 5.12a se ilustran dichas diferencias.

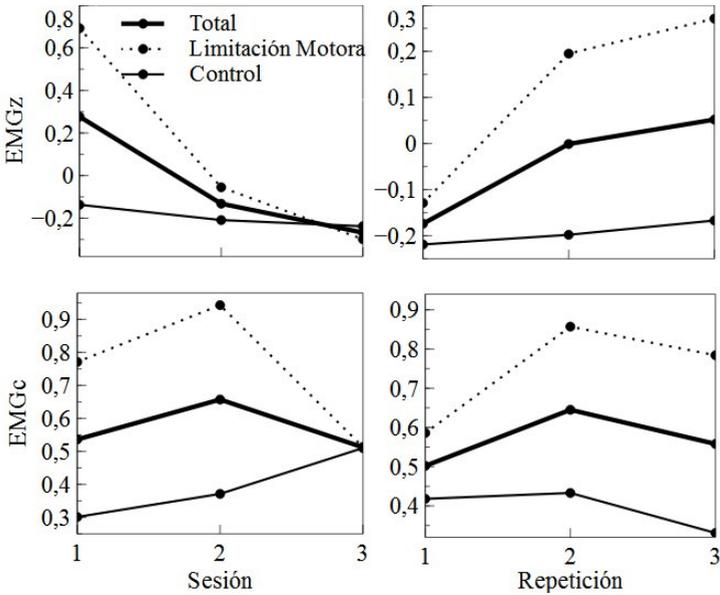
En la figura 5.12b se observa el proceso de adaptación y **aprendizaje**, que al igual que en otras variables fisiológicas, no muestra la tendencia esperable (ver sección 6.4). A priori, la EMGz, relacionada con la satisfacción debería ir aumentando con las repeticiones y sesiones. En cambio, la EMGz aumenta a lo largo de las repeticiones pero disminuye a lo largo de las sesiones, cuando cabría esperar que aumentara en ambos casos. Las pruebas post-hoc muestran diferencias entre la primera repetición y las otras dos, y entre las tres sesiones (tabla 5.24b).

En la tabla 5.24d se puede comprobar que los resultados anteriores dependen del **perfil de usuario**. Cabe destacar que solo se encuentran diferencias para los usuarios con limitación motora, lo que indica que la presencia o ausencia de las recomendaciones solo afecta este grupo de usuarios, en línea con la hipótesis 2.

La presencia de “Imagen de fondo” disminuye la EMGz, reduciendo la satisfacción, en coherencia con las recomendaciones de experto. En cuanto a los menús, el menú 1 provoca menores valores de EMGz que los menús 4 y 5 (tabla 5.24d).



(a) Menús en función del perfil de usuario



(b) Evolución a lo largo de sesiones y repeticiones

Figura 5.12: Medias marginales estimadas de la EMGz y EMGc para menú, sesión y repetición, en función del perfil de usuario.

M (i)	M (j)	DM (i-j)	error	p
M1	M3	-0,223	0,069	0,014
M1	M4	-0,209	0,070	0,030

(a) Menú

R(i)	R(j)	DM (i-j)	error	p
R1	R2	-0.164	0.049	0,003
R1	R3	-0.217	0.049	<0,001

(b) Repetición

S (i)	S (j)	DM (i-j)	error	p
S1	S2	0,406	0,050	<0,001
S1	S3	0,538	0,049	<0,001
S2	S3	0,132	0,049	0,021

(c) Sesión

LM	Factor (i)	Factor (j)	DM (i-j)	p
Sí	P5 (X)	P5 (-)	-0,203	0,005
Sí	R1	R2	-0,324	<0,001
Sí	R1	R3	-0,400	<0,001
Sí	S1	S2	0,747	<0,001
Sí	S1	S3	0,991	<0,001
Sí	S2	S3	0,244	0,010
Sí	M1	M4	-0,401	0,008
Sí	M1	M5	-0,466	0,016

(d) Interacción perfil de usuario

Tabla 5.24: Análisis post-hoc mediante el método de Bonferroni de la EMGz en función del tipo de menú (M), sesión (S), repetición (R), y la interacción del perfil de usuario (LM: Limitación motora) con el resto de factores. Presencia (X) o ausencia (-) de las recomendaciones de usabilidad (P5: “Imagen de fondo”). Excepto para el tipo de menú (M1-M5), número de la sesión (S1-S3) y de la repetición (R1-R3). DM: Diferencia de medias; p: nivel de significación. Solo se muestran las diferencias significativas ($p < 0,05$).

Por último, la EMGz no cambia prácticamente a lo largo de las sesiones y repeticiones para los sujetos control, como se observa en la figura 5.12b. En cambio, aumenta a lo largo de las repeticiones y disminuye a lo largo de las sesiones en los usuarios con limitación motora. En concreto, las diferencias significativas se dan entre la primera repetición y las otras dos, y entre las tres sesiones (tabla 5.24d).

Esto pone otra vez de manifiesto el mayor peso del proceso de aprendizaje en los usuarios con limitación motora.

5.4.4.4. Electromiografía sobre el corrugador superciliar: EMGc

En la tabla 5.21 se muestra que los cambios en la actividad sobre la EMGc están asociados a las recomendaciones “Migas”, “Imagen de fondo” ($p=0,023$) y “Menú”; el perfil de usuario; y la sesión ($p=0,019$) y la repetición ($p=0,033$). Además, el efecto en la EMGc depende del perfil de usuario para las recomendaciones “Ir a inicio”, “Ir arriba”, “Migas”, “Imagen de fondo” y “Menú; y las sesiones y repeticiones ($p=0,018$).

La presencia de “Migas” disminuye la EMGc, reduciendo la valencia negativa y/o la carga cognitiva, y la presencia de “Imagen de fondo” la aumenta; ambas en concordancia con las recomendaciones de experto.

En la figura 5.12a se observa que la agrupación de los menús es menos clara que en otras variables. Si bien, parece que el menú 3 y el menú 5 son lo que mayores y menores valores de EMGc provocan respectivamente. En la tabla 5.25b se muestra que existen diferencias entre la mayoría de los menús, aunque la principal diferencia se encuentra entre el menú 3 y el resto de menús.

En la figura 5.12b se muestra el efecto del proceso de adaptación y **aprendizaje**, con pequeños cambios en la EMGc. De hecho, solo se encuentran diferencias significativas entre la primera y la segunda repetición, reduciéndose el valor de la EMGc (tabla 5.25a).

Los resultados anteriores varían en función del **perfil de usuario**, tal y como se puede comprobar en la tabla 5.26. A excepción de los menús, las recomendaciones solo influyen en la EMGc para los usuarios con limitación motora.

La presencia de las recomendaciones “Ir a inicio”, “Migas” e “Ir arriba” disminuyen la EMGc, al igual que la ausencia de “Imagen de fondo” (tabla 5.26), en coherencia con las recomendaciones de experto.

En la figura 5.12a se puede comprobar que la EMGc es mayor para los usuarios con limitación motora con independencia del tipo de menú, aunque el impacto de cada menú es similar en ambos grupos. El menú 3 incrementa

R (i)	RS (j)	DM (i-j)	error	p
R1	R2	-0,136	0,055	0,040

(a) Repetición

M (i)	M (j)	DM (i-j)	error	p
M1	M2	0,241	0,079	0,025
M1	M3	-0,246	0,078	0,016
M1	M5	0,424	0,090	<0,001
M2	M3	-0,486	0,063	<0,001
M3	M4	0,393	0,063	<0,001
M3	M5	0,670	0,077	<0,001
M4	M5	0,277	0,077	0,004

(b) Menús

Tabla 5.25: Análisis post-hoc mediante el método de Bonferroni de la EMGc en función del tipo de menú (M) y la repetición (R). Tipo de menú (M1-M5) y número de la repetición (R1-R3). DM: Diferencia de medias; p: nivel de significación. Solo se muestran las diferencias significativas ($p < 0,05$).

la EMGc y el menú 4 la reduce, mientras que los menús 1, 2 y 4 se encuentran en un nivel intermedio (tabla 5.26).

Por último, en la figura 5.12b se observa que la EMGc varía de forma distinta a lo largo de las repeticiones y sesiones en función del perfil de usuario. La EMGc decrece significativamente en la tercera sesión para los usuarios con limitación motora, mientras aumenta en dicha sesión para los sujetos control (tabla 5.26). Este último efecto se puede deber a una situación de aburrimiento en los sujetos control (ver discusión de la sección 6.4). Además, la EMGc también aumenta entre la primera y la segunda repetición para los usuarios con limitación motora (tabla 5.26).

5.4.4.5. Resumen resultados de las variables fisiológicas

En los resultados descritos en esta sección, cabe destacar las numerosas asociaciones entre las recomendaciones de usabilidad y las variables fisiológicas. La combinación de las distintas variables fisiológicas permite detectar el efecto de casi la totalidad de las recomendaciones, así como las diferencias en función del perfil de usuario

LM	Factor (i)	Factor (j)	DM (i-j)	error	p
Sí	P1(X)	P1(-)	-0,381	0,093	<0,001
Sí	P2(X)	P2(-)	-0,293	0,076	<0,001
Sí	P5(X)	P5(-)	-0,329	0,075	<0,001
Sí	P6(X)	P6(-)	0,547	0,076	<0,001
Sí	M1	M3	-0,595	0,138	<0,001
Sí	M1	M5	0,508	0,127	0,021
Sí	M2	M3	-0,613	0,155	<0,001
Sí	M2	M5	0,490	0,115	0,006
Sí	M3	M4	0,475	0,101	<0,001
Sí	M3	M5	1,103	0,135	<0,001
Sí	M4	M5	0,628	0,114	<0,001
No	M1	M2	0,458	0,145	0,002
No	M1	M4	0,402	0,134	0,003
No	M1	M5	0,463	0,116	0,006
No	M2	M3	-0,436	0,117	0,003
No	M3	M4	0,380	0,107	0,007
No	M3	M5	0,441	0,128	0,011
Sí	S1	S3	0,258	0,085	0,014
Sí	S2	S3	0,430	0,087	<0,001
No	S1	S3	-0,209	0,079	0,050
Sí	R1	R2	-0,271	0,086	0,010

Tabla 5.26: Análisis post-hoc mediante el método de Bonferroni de la EMGc en función de la interacción del perfil de usuario (LM: Limitación motora) con el resto de factores. Presencia (X) o ausencia (-) de las recomendaciones de usabilidad (P1: “Ir a inicio”; P2: “Ir arriba”; P5: “Imagen de fondo”; P6: “Migas”). Excepto para el tipo de menú (M1-M5), número de la sesión (S1-S3) y de la repetición (R1-R3). DM: Diferencia de medias; p: nivel de significación. Solo se muestran las diferencias significativas ($p < 0,05$).

La mayoría de resultados están en línea con las recomendaciones de experto, salvo contadas excepciones como “Ir a inicio”. Sin embargo, la validez de dichas **recomendaciones** varía considerablemente en función del perfil de usuario, llegando a tener **impactos negativos en los usuarios control**.

Disponer de información objetiva y cuantitativa de la respuesta emocional del usuario, a través de las variables fisiológicas, proporciona una mayor información sobre los efectos de las recomendaciones que las variables tradicionales. Se han **mejorado** considerablemente **los resultados obtenidos** mediante cuestionarios, **nivel 1 y 2**, para evaluar la satisfacción. Además, **se ha complementado**, los resultados obtenidos mediante el análisis de la duración de la tarea, **nivel 3**, para evaluar la eficiencia.

5.4.5. Influencia de las causas en las variables de nivel 4: Estrategia visual

Esta sección se centra en los resultados relacionados con las variables del seguimiento de la mirada, tal y como se resalta en la figura 5.13. Se muestra la influencia de las recomendaciones de usabilidad y el aprendizaje en dicho conjunto de variables, diferenciando según el perfil de usuario.

Tal y como se ha descrito en las secciones 2.5.7 y 4.2.5.2, este grupo de variables aportan información sobre la eficiencia en la realización de la tarea, complementando la información aportada al respecto por el tiempo empleado (nivel 3) y la opinión del usuario (nivel 2). Para facilitar la posterior comprensión de los resultados, se explica el efecto de cada una de las variables en la interacción con la web:

- Número total de fijaciones: Mayor número de fijaciones indica menos eficiencia en la búsqueda.
- Número de fijaciones por segundo: Mayor número de fijaciones por segundo indica menos eficiencia en la búsqueda.
- Amplitud de los sacádicos: Sacádicos largos indican estímulos más significativos.
- Ratio sacádico-fijación: Compara el tiempo utilizado en la búsqueda (sacádicos) con el tiempo utilizado en el procesado de la información (fijaciones). Un mayor ratio indica más procesado o menos búsqueda. En nuestro caso, indicaría una menor búsqueda, ya que hay una mayor carga de búsqueda que de comprensión. Esto es debido a que el contenido es el mismo para todos los estilos y las tareas se centran en aspectos de búsqueda de información.

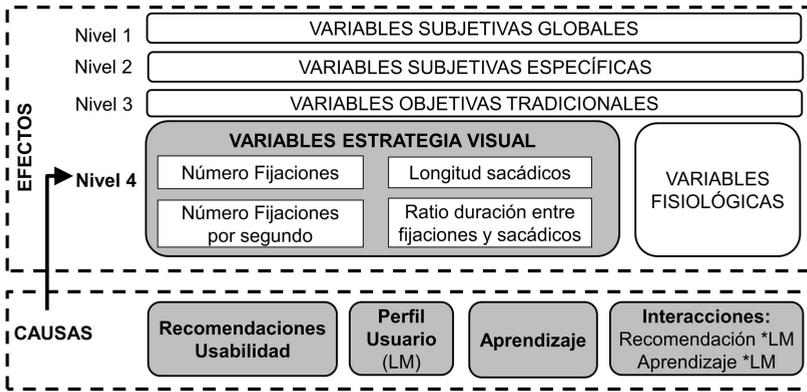


Figura 5.13: Estructura del modelo estadístico de 4 niveles del efecto de las recomendaciones de usabilidad y el perfil del usuario en las distintas variables para evaluar la usabilidad. Los cuadros sombreados muestran que el análisis se centra en la influencia de las causas sobre las variables de nivel 4, en concreto, sobre las variables de la mirada.

El **análisis exploratorio** muestra que los sacádicos realizados por los usuarios tienen una longitud media cercana a los 300 píxeles. Además, realizan alrededor de 140 fijaciones para alcanzar cada objetivo, lo que se traduce entre 3 y 4 fijaciones por segundo, como se puede comprobar en la tabla 5.27.

Los usuarios con limitaciones motoras necesitan un mayor número de fijaciones para alcanzar cada objetivo (tabla 5.27). Además, este grupo emplea una mayor parte del tiempo fijándose que buscando información en comparación con los sujetos control. Resultado que se extrae de la tabla 5.27, ya que el ratio es considerablemente mayor para los usuarios con limitación motora. En conjunto, se puede decir que los **patrones de exploración visual varían en función del perfil de usuario**.

Como se observa en la tabla 5.28, **todas las recomendaciones y su interacción con el perfil de usuario influyen** en al menos una de las variables del seguimiento de la mirada. Además, se alcanzan los mejores niveles de significación ($p < 0,001$). El único factor que no influye en ninguna de las variables es la interacción de la repetición con el perfil de usuario. Cabe resaltar los buenos resultados obtenidos por el ratio de duración, el cual permite detectar el efecto de todas las recomendaciones de usabilidad y su interacción con el perfil de usuario.

Nivel 4	Global	LM	Control
Ratio duración #	0,848 (0,592)	1,061 (0,725)	0,658 (0,342)
Amp. sacádicos (píxeles)	304,3 (186,3)	293,8 (175,2)	313,8 (195,3)
Nº Fijaciones	137,8 (178,3)	190,3 (210,9)	90,7 (125,6)
Nº Fijaciones/s	3,58 (2,37)	3,48 (2,44)	3,67 (2,31)

Tabla 5.27: Media y desviación estándar (d.e.) de las variables del seguimiento de la mirada de nivel 4 por perfil de usuario (LM: Limitación motora). #: Adimensional.

A continuación, se detallan los resultados para cada una de las variables asociadas al seguimiento de la mirada.

5.4.5.1. Número de fijaciones

En la tabla 5.28 se observa que las recomendaciones “Ir a inicio”, “Señalar y hacer clic”, “Imagen de fondo” y “Menú”; la sesión y la repetición; y el perfil de usuario influyen de forma significativa en el número de fijaciones necesarias para finalizar la tarea.

La presencia de “Ir a inicio” disminuye el número de fijaciones, lo que indica mayor eficiencia en la búsqueda. En cambio, la presencia de “Señalar y hacer clic” e “Imagen de fondo” aumenta el número de fijaciones. A excepción de la recomendación “Señalar y hacer clic”, los resultados son consistentes con las recomendaciones de experto.

En la figura 5.14a se observa que existen dos grupos de menús, el menú 1 y 2, con mayor número de fijaciones, y el resto de menús. En concreto, existen diferencias significativas entre el menú 1 y los menús 2, 3 y 4; y el menú 2 y el menú 4 (tabla 5.29a).

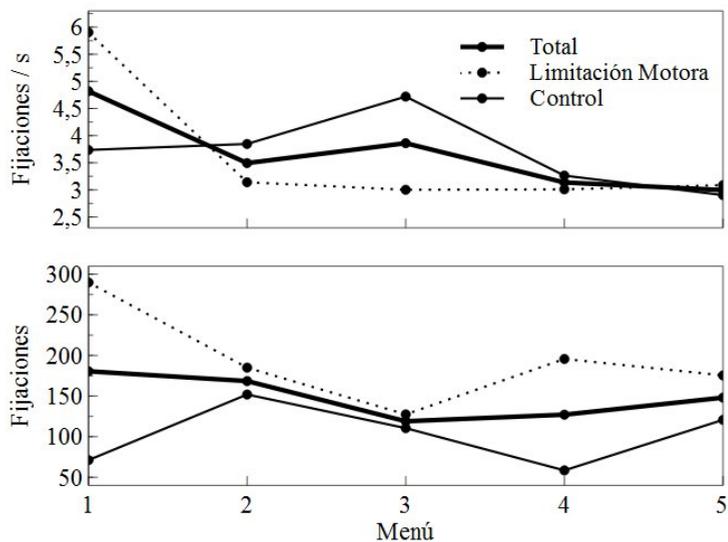
El proceso de adaptación y aprendizaje se refleja en la figura 5.14b, con una reducción del número de fijaciones a lo largo de las repeticiones y sesiones. Existen diferencias significativas entre todas las sesiones (tabla 5.29b), y entre la primera repetición y las otras dos (tabla 5.29c).

Los resultados anteriores varían en función del **perfil de usuario**, como ya se había adelantado en la tabla 5.28. El número de fijaciones es mayor para los usuarios con limitación motora. Además, las recomendaciones “Ir a inicio”, “Ir arriba”, “Mapa web”, “Señalar y hacer clic”, “Imagen de fondo” y “Menú” influyen de forma distinta en función del perfil de usuario (tabla 5.28).

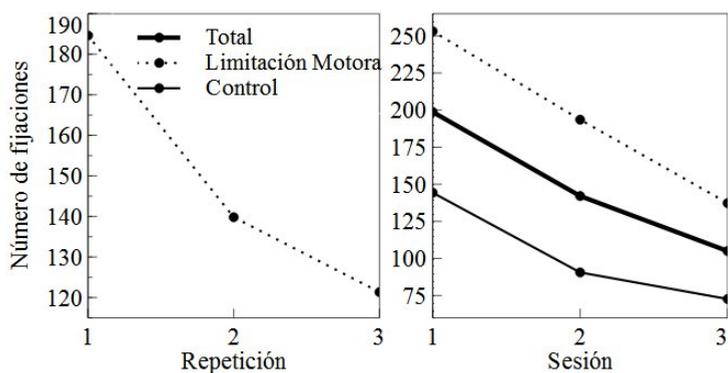
La presencia de “Ir a inicio”, “Ir arriba”, “Mapa web” y “Migas” disminuye el número de fijaciones para los usuarios con limitación motora, mejorando la

Factor		Ratio	Amp.	Fij	Fij/s
Recomendación	“Ir a inicio”	***	-	*	-
	“Ir arriba”	***	***	-	-
	“Mapa web”	**	-	-	-
	“Señalar y hacer clic”	***	***	***	***
	“Imagen de fondo”	***	***	*	-
	“Migas”	*	-	-	-
Aprendizaje	“Menú”	***	***	***	***
	Sesión	-	*	***	-
Influencia usuario	Repetición	-	-	***	-
	Limitación Motora (LM)	***	**	***	-
	Sesión * LM	***	***	*	-
	Repetición * LM	-	-	-	-
	“Ir a inicio” * LM	***	***	***	*
	“Ir arriba” * LM	***	**	***	***
	“Mapa web” * LM	***	-	***	-
	“Señalar y hacer clic” * LM	***	-	**	**
	“Imagen de fondo” * LM	***	***	-	-
	“Migas” * LM	*	-	***	-
“Menú” * LM	***	***	***	***	

Tabla 5.28: Factores significativos de los modelos ANOVA para las variables del seguimiento de la mirada: Ratio de duración sacádicos fijaciones (Ratio), amplitud de los sacádicos (Amp.), número de fijaciones (Fij) y número de fijaciones por segundo (Fij/s). Diferencias significativas ($p < 0,05$): “-” $p > 0,05$; “*” $0,01 < p < 0,05$; “**” $0,001 < p < 0,01$; y “***” $p < 0,001$.



(a) Tipo de menú



(b) Repetición y sesión

Figura 5.14: Medias marginales estimadas del número de fijaciones y el número de fijaciones por segundo del menú, sesión y repetición, en función del perfil de usuario. Solo se muestran las curvas correspondientes a los grupos de usuarios que presentan diferencias significativas

M (i)	M (j)	DM (i-j)	error	p
M1	M2	44,460	9,650	<0,001
M1	M3	46,330	13,370	0,005
M1	M4	59,780	13,713	<0,001
M2	M4	35,110	11,469	0,022

(a) Menús

S (i)	S(j)	DM (i-j)	error	p
S1	S2	62,370	9,730	<0,001
S1	S3	96,280	9,620	<0,001
S2	S3	33,910	9,620	<0,001

(b) Sesión

R (i)	R (j)	DM (i-j)	error	p
R1	R2	44,460	9,650	<0,001
R1	R3	63,100	9,650	<0,001

(c) Repetición

Tabla 5.29: Análisis post-hoc mediante el método de Bonferroni del número de fijaciones en función del menú (M), sesión (S) y repetición (R). DM: Diferencia de medias; p: nivel de significación. Solo se muestran las diferencias significativas ($p < 0,05$).

LM	Factor (i)	Factor(j)	DM (i-j)	error	p
Sí	P1 (X)	P1 (-)	-99,170	16,523	<0,001
No	P1 (X)	P1 (-)	34,919	15,157	0,043
Sí	P2 (X)	P2 (-)	-69,025	13,680	<0,001
No	P2 (X)	P2 (-)	53,243	11,973	<0,001
Sí	P3 (X)	P3 (-)	-59,601	13,627	<0,001
No	P3 (X)	P3 (-)	39,536	11,581	0,001
Sí	P6 (X)	P6 (-)	-32,4790	13,812	0,034
No	P6 (X)	P6 (-)	35,947	12,037	0,006
Sí	M1	M2	104,901	21,795	<0,001
Sí	M1	M3	162,466	23,645	<0,001
Sí	M1	M4	94,199	21,940	<0,001
Sí	M1	M5	114,457	26,775	<0,001
Sí	M3	M4	-68,267	20,321	0,016
No	M1	M2	-80,807	20,366	0,002
No	M2	M4	93,443	18,370	<0,001
Sí	S1	S2	59,614	15,314	<0,001
Sí	S1	S3	115,866	14,881	<0,001
Sí	S2	S3	56,252	15,330	0,002
No	S1	S2	53,740	13,885	<0,001
No	S1	S3	71,650	13,901	<0,001

Tabla 5.30: Análisis post-hoc mediante el método de Bonferroni del número de fijaciones para la interacción del conjunto de factores con el perfil de usuario (LM: limitación motora). Presencia (X) o ausencia (-) de las recomendaciones de usabilidad (P1: “Ir a inicio”; P2: “Ir arriba”; P3: “Mapa web”; P6: “Migas”). Excepto para el tipo de menú (M1-M5) y sesión (S1-S3). DM: Diferencia de medias; p: nivel de significación. Solo se muestran las diferencias significativas ($p < 0,05$).

eficiencia. En cambio, la presencia de dichas recomendaciones incrementa el número de fijaciones para los sujetos control, es decir, empeora la eficiencia. Estos resultados reafirman la dependencia del perfil de usuario en la validez de las recomendaciones de usabilidad, apoyando la hipótesis 2.

Por el contrario, la presencia del “Señalar y hacer clic” aumenta el número de fijaciones para los usuarios con limitación motora, de acuerdo con la establecido en la hipótesis 1.

En la figura 5.14a se observan, a simple vista, las diferencias de los tipos de menú para ambos perfiles, especialmente en los casos del menú 1 y 4. En la tabla 5.30 se muestran las diferencias significativas existentes. Resaltar que el menú 1 y el menú 2 son los que más aumentan el número de fijaciones para los sujetos con limitación motora y los sujetos control, respectivamente.

Aunque el número de fijaciones siempre es mayor para los sujetos con limitación motora, ambos perfiles necesitan menos fijaciones a lo largo de las sesiones y repeticiones, tal y como se observa en la figura 5.14b. Existen diferencias significativas entre todas las sesiones para los sujetos con limitación motora, y entre la primera sesión y el resto para los sujetos control (tabla 5.30). Este resultado pone de manifiesto, otra vez, las diferencias en las curvas de aprendizaje en función del perfil de usuario.

5.4.5.2. Número de fijaciones por segundo

A diferencia del resto de variables de la mirada, sólo las recomendaciones “Señalar y hacer clic” y “Menú” influyen de forma significativa en el número de fijaciones por segundo, tal y como se ha adelantado en la tabla 5.28.

La presencia de “Señalar y hacer clic” aumenta el número de fijaciones por segundo, reduciendo la eficiencia y en contraposición con las recomendaciones de experto; resultado que refuerza la hipótesis 1.

En la figura 5.14a se observan tres grupos de menús: 1, 3, y 2-4-5; siendo el menú 1 el que genera mayor número de fijaciones por segundo y el menú 5 el que menos. En concreto, existen diferencias significativas entre el menú 1 y el resto de menús; y entre el menú 3 y el resto de menús (tabla 5.31a).

Los resultados anteriores varían considerablemente en función del **perfil de usuario**, apareciendo un mayor número de recomendaciones que influyen significativamente: “Ir a inicio”, “Ir arriba”, “Señalar y hacer clic” y “Menú”. En la tabla 5.31b se muestran las principales diferencias.

La presencia de “Ir arriba” reduce el número de fijaciones por segundo para los usuarios con limitación motora, mientras que la aumenta para los sujetos control, resaltando la diferencia de utilidad de las recomendaciones en función del perfil de usuario.

M(i)	M(j)	DM (i-j)	error	p
M1	M2	1,405	0,196	<0.001
M1	M3	0,757	0,191	<0.001
M1	M4	1,546	0,196	<0.001
M1	M5	1,826	0,224	<0.001
M2	M3	-0,648	0,157	<0.001
M3	M4	0,790	0,158	<0.001
M3	M5	1,070	0,191	<0.001

(a) Menús

LM	Factor (i)	Factor (j)	DM (i-j)	error	p
Sí	P1 (X)	P1 (-)	-0,649	0,236	0,012
Sí	P2 (X)	P2 (-)	-1,091	0,195	<0,001
No	P2 (X)	P2 (-)	1,122	0,171	<0,001
Sí	M1	M2	2,763	0,311	<0,001
Sí	M1	M3	2,902	0,338	<0,001
Sí	M1	M4	2,894	0,313	<0,001
Sí	M1	M5	2,817	0,383	<0,001
No	M1	M3	-0,984	0,294	0,017
No	M3	M4	1,456	0,266	<0,001
No	M3	M5	1,816	0,321	<0,001

(b) Interacción perfil de usuario

Tabla 5.31: Análisis post-hoc mediante el método de Bonferroni del número de fijaciones por segundo en función del tipo de menú (M) y la interacción de los factores con el perfil de usuario (LM: Limitación motora). Presencia (X) o ausencia (-) de las recomendaciones de usabilidad (P1: “Ir a inicio”; P2: “Ir arriba”). Excepto para el tipo de menú (M1-M5). DM: Diferencia de medias; p: nivel de significación. Solo se muestran las diferencias significativas ($p < 0,05$)

Por otra parte, la presencia de “Ir a inicio” reduce el número de fijaciones por segundo para los usuarios con limitación motora, en línea con las recomendaciones de experto. En cambio, la presencia de “Señalar y hacer clic” aumenta el número de fijaciones por segundo para este mismo grupo de usuarios, en contraposición con las actuales recomendaciones de experto. En ambos casos no existe ningún efecto para los usuarios control.

Por último, en la figura 5.14a se observa que los menús 1 y 3 son los que provocan un efecto más distinto según el perfil de usuario. Las pruebas post-hoc muestran que el menú 1 y el menú 3 son los que más aumentan el número de fijaciones para los sujetos con limitación motora y control, respectivamente (tabla 5.31b).

5.4.5.3. Longitud de los sacádicos

Como ya se había adelantado en la tabla 5.28, la longitud de los sacádicos varía de forma significativa en función de las recomendaciones “Ir arriba”, “Señalar y hacer clic”, “Imagen de fondo” y “Menú”; la sesión ($p=0,050$) y el perfil de usuario ($p=0,007$).

La presencia de “Ir arriba” e “Imagen de fondo” disminuye la longitud de los sacádicos, empeorando la eficiencia de búsqueda; mientras que la presencia de “Señalar y hacer clic” la aumenta. A excepción de la recomendación “Ir arriba”, los resultados coinciden con las recomendaciones de experto.

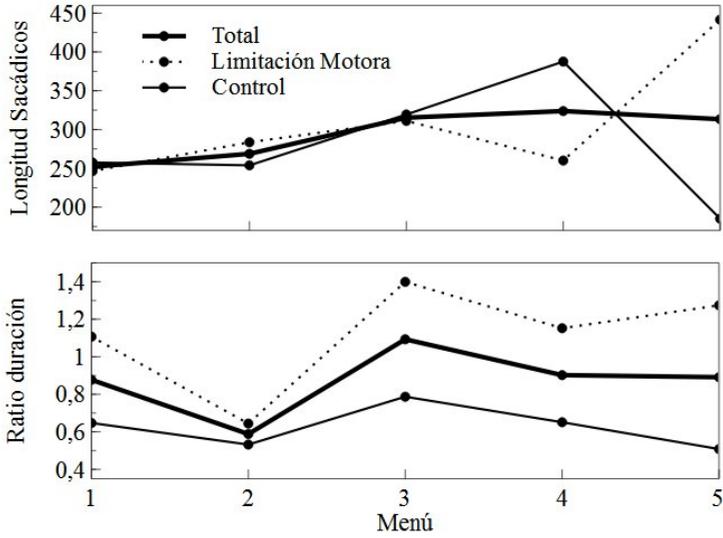
En la figura 5.15a se observa que existen dos grupos de menús, siendo el menú 4 el que provoca una mayor longitud de los sacádicos. Sin embargo, en la tabla 5.32b se muestra que existen diferencias significativas entre más menús; generando 3 grupos: menús 1 y 2; menús 3 y 4; y menú 5.

En la figura 5.15b se puede ver que la longitud de los sacádicos aumenta a lo largo de las sesiones, existiendo diferencias significativas entre la primera sesión y las siguientes (tabla 5.32a).

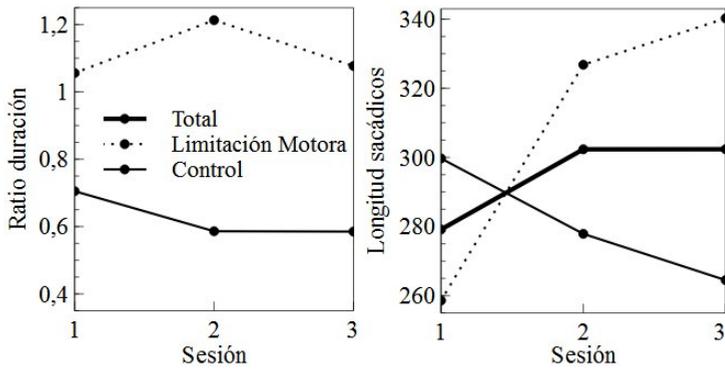
Los resultados anteriores varían en función del **perfil de usuario**. Como ya se había adelantado en la tabla 5.28, las recomendaciones “Ir a inicio”, “Ir arriba” ($p=0,08$), “Imagen de fondo” y “Menú”; y la sesión, influyen de forma distinta en función del perfil de usuario. Este hecho resalta la importancia de tener en cuenta el perfil de usuario.

En general, la longitud de los sacádicos es mayor en los usuarios con limitación motora. Esto indica que existen pistas más claras para estos grupos, posiblemente por el uso de alguna de las recomendaciones relacionadas con la navegación como ir arriba o ir a inicio.

El efecto producido por las recomendaciones en cada grupo de usuarios varía considerablemente para cada recomendación, como se detalla en la ta-



(a) Tipo de menú



(b) Sesión

Figura 5.15: Medias marginales estimadas de la longitud de los sacádicos y el ratio de duración de los menús y sesiones, en función del perfil de usuario. Solo se muestran las curvas correspondientes a los grupos de usuarios que presentan diferencias significativas.

S (i)	S (j)	DM (i-j)	error	p
S1	S2	-28,820	10,928	0,025
S1	S3	-28,983	10,803	0,022

(a) Menú

M (i)	M (j)	DM (i-j)	error	p
M1	M3	-88,888	15,018	<0,001
M1	M4	-70,125	15,403	<0,001
M2	M3	-57,529	12,419	<0,001
M2	M4	-38,767	12,882	0,027
M3	M5	46,196	15,045	0,022

(b) Menú

LM	Factor (i)	Factor (j)	DM (i-j)	error	p
Sí	P1 (X)	P1 (-)	94,920	18,560	<0,001
No	P1 (X)	P1 (-)	-96,682	17,025	<0,001
Sí	P2 (X)	P2 (-)	-31,750	15,366	0,078
No	P2 (X)	P2 (-)	-85,364	13,449	<0,001
Sí	P5 (X)	P5 (-)	-71,447	15,173	<0,001
Sí	M1	M5	-195,112	30,075	<0,001
Sí	M2	M5	-157,942	26,686	<0,001
Sí	M3	M5	-130,416	28,604	<0,001
Sí	M4	M5	-181,529	26,835	<0,001
No	M1	M4	-130,056	21,067	<0,001
No	M2	M4	-133,711	20,634	<0,001
No	M3	M4	-68,195	20,922	0,023
No	M3	M5	134,248	25,245	<0,001
No	M4	M5	202,443	23,365	<0,001
Sí	S1	S2	-68,210	17,201	<0,001
Sí	S1	S3	-81,650	16,715	<0,001

(c) Interacción perfil de usuario

Tabla 5.32: Análisis Post-Hoc mediante el método de Bonferroni de la longitud de los sacádicos en función del tipo de menú (M), sesión (S) y la interacción de los factores con el perfil de usuario (Limitación motora: LM). Presencia (X) o ausencia (-) de las recomendaciones de usabilidad (P1: “Ir a inicio”; P2: “Ir arriba”; P5: “Imagen de fondo”). Excepto para el tipo de menú (M1-M5) y número de la sesión (S1-S3). DM: Diferencia de medias; p: nivel de significación. Solo se muestran las diferencias significativas ($p < 0,05$).

bla 5.32c. La presencia de “Ir arriba” disminuye la longitud de los sacádicos en los sujetos control, afectando negativamente a la eficiencia de búsqueda y en contra de las recomendaciones de experto; en cambio, no tiene ningún efecto en los sujetos con limitación motora.

En cambio, la presencia de “Ir a inicio” incrementa la longitud de los sacádicos para los usuarios con limitación motora, mejorando la eficiencia; mientras que se reduce para los sujetos control, afectando negativamente a la eficiencia.

Solo la presencia de “Imagen de fondo” está en línea con las recomendaciones de experto, ya que disminuye la longitud de los sacádicos para los usuarios con limitación motora; sin tener ningún efecto negativo en los usuarios control.

En la figura 5.15a se describen las diferencias en función del tipo de menú, resaltando el efecto distinto del menú 4 y 5 según el perfil de usuario. Existen diferencias significativas entre el menú 5 y el resto de menús para los usuarios con limitación motora, y entre el menú 4 y los menús 1 y 2 para los sujetos control (tabla 5.32c).

Por último, en la figura 5.15b se observa que la longitud de los sacádicos aumenta a lo largo de las sesiones sólo para los usuarios con limitación motora. En concreto, existen diferencias significativas entre la primera y segunda sesión para dicho grupo de usuarios (tabla 5.32c).

5.4.5.4. Ratio de duración entre sacádicos y fijaciones

Todas las recomendaciones influyen de forma significativa en el ratio de duración, tal y como se había adelantado en la tabla 5.28. Además, el efecto de todas las recomendaciones varía en función del perfil de usuario.

La presencia de “Ir a inicio”, “Mapa web”, “Migas” y “Señalar y hacer clic” aumenta el ratio de duración, relacionado con menor tiempo de búsqueda. En cambio, la presencia de “Ir arriba” e “Imagen de fondo” reducen el ratio de duración. Estos resultados coinciden con las recomendaciones de experto, a excepción de la recomendación “Ir arriba”.

A primera vista, en la figura 5.15a existen tres grupos de menús, siendo los menús 2 y 3 los que provocan mayor y menor aumento del ratio, respectivamente; y estando el resto de menús en un nivel intermedio. Sin embargo, en la tabla 5.33a se observa que las diferencias significativas se centran principalmente entre el menú 3 y el resto de menús.

Los resultados anteriores varían en función del **perfil de usuario**, teniendo un efecto distinto todas las recomendaciones de usabilidad y la sesión, tal y como se adelantaba en la tabla 5.28. En líneas generales, el ratio de duración es significativamente mayor para los usuarios con limitación motora.

M (i)	M(j)	DM (i-j)	error	p
M1	M3	-0,188	0,045	<0,001
M2	M3	-0,294	0,038	<0,001
M2	M4	-0,142	0,038	0,003
M3	M4	0,152	0,038	<0,001
M3	M5	0,308	0,045	<0,001
M4	M5	0,156	0,047	0,008

(a) Menú

LM	Factor (i)	Factor (j)	DM (i-j)	error	p
Sí	P1 (X)	P1 (-)	0,492	0,056	<0,001
Sí	P2 (X)	P2 (-)	-0,268	0,046	<0,001
Sí	P3 (X)	P3 (-)	0,190	0,047	<0,001
Sí	P5 (X)	P5 (-)	-0,323	0,046	<0,001
Sí	P6 (X)	P6 (-)	0,152	0,047	<0,001
Sí	M1	M2	0,463	0,073	<0,001
Sí	M1	M3	-0,292	0,080	0,005
Sí	M2	M3	-0,755	0,068	<0,001
Sí	M2	M4	-0,508	0,062	<0,001
Sí	M2	M5	-0,630	0,081	<0,001
Sí	M3	M4	0,247	0,069	0,007
No	M2	M3	-0,255	0,069	0,004
No	M3	M5	0,279	0,076	0,005
Sí	S1	S2	-0,157	0,052	0,017

(b) Interacción perfil de usuario

Tabla 5.33: Análisis post-hoc mediante el método de Bonferroni del ratio de duración en función del tipo de menú (M), y la interacción del perfil de usuario (Limitación motora: LM) con el resto de factores. Presencia (X) o ausencia (-) de las recomendaciones de usabilidad (P1: “Ir a inicio”; P2: “Ir arriba”; P3: “Mapa web”; P5: “Imagen de fondo”; P6: “Migas”). Excepto para el tipo de menú (M1-M5) y número de la sesión (S1-S3). DM: Diferencia de medias; p: nivel de significación. Solo se muestran las diferencias significativas ($p < 0,05$).

A excepción de los menús, ninguna recomendación influye de forma significativa en el ratio de duración de los usuarios control. En cambio, la presencia de “Ir arriba” e “Imagen de fondo” reducen el ratio de duración para los usuarios con limitación motora; y la presencia de “Mapa web”, “Ir a inicio”, “Migas” y “Señalar y hacer clic” lo aumenta para este mismo grupo.

Estos resultados son coherentes con las recomendaciones de experto, a excepción de “Ir arriba”. No obstante, ponen de manifiesto que mientras las recomendaciones mejoran la usabilidad de un grupo, pueden no tener ningún efecto en otro grupo de usuarios, en línea con la hipótesis 2.

En la figura 5.15a se observa que los distintos tipos de menús influyen en mayor medida en el ratio de duración de los usuarios con limitación motora. Los mayores valores del ratio de duración se dan en el menú 3 para ambos perfiles. Sin embargo, tal y como se detalla en la tabla 5.33b, las diferencias son mucho mayores con el resto de menús para los usuarios con limitación motora.

Por último, el ratio de duración solo varía a lo largo de las sesiones para los usuarios con limitación motora (figura 5.15b), resaltando la diferencia de en la curva de aprendizaje según el perfil de usuario. Existen diferencias significativas entre la primera sesión, con un ratio de duración menor, y el resto de sesiones (tabla 5.33b).

5.4.5.5. Resumen resultados de las variables del seguimiento de la mirada

La combinación de las distintas variables, o incluso solo con el uso del **ratio de duración**, permite detectar el efecto de casi la totalidad de las recomendaciones y su interacción con el perfil de usuario. Estos resultados ponen de relieve que disponer de información, objetiva y cuantitativa, de la trayectoria visual del usuario, proporciona una mayor información sobre los efectos de las recomendaciones de usabilidad.

Este conjunto de variables permite complementar y mejorar los resultados obtenidos mediante la duración de la tarea para evaluar la eficiencia. Además, **aporta más información**, no solo sobre el tiempo necesario para realizar la tarea sino sobre como el usuario realiza la tarea, a través de los patrones de exploración visual.

Con vistas a sintetizar los resultados de la sección 5.4, que serán discutidos en el capítulo 5.4, en las siguientes secciones se resumen los puntos más relevantes del análisis realizado:

- Validez de las recomendaciones de usabilidad, hipótesis 1, a partir de su impacto en las variables de los cuatro niveles (Sección 5.5).

- Diferencias en función del perfil de usuario, hipótesis 2, a partir de su impacto en las variables de los cuatro niveles (Sección 5.6).
- Nivel de sensibilidad de las variables de los distintos niveles para detectar los efectos de las recomendaciones de usabilidad, hipótesis 3 (Sección 5.7).
- Evolución de las variables a lo largo del proceso de adaptación y aprendizaje (Sección 5.8).

5.5. Validez de las recomendaciones de usabilidad

En la sección 6.1 se discutirá la validez de las distintas recomendaciones de usabilidad para validar la hipótesis 1, analizando en detalle su impacto en cada una de las variables e interpretando los resultados.

Como paso previo, en la tabla 5.34 se muestra de forma resumida los impactos significativos de las siete recomendaciones de usabilidad en cada una de las variables de los cuatro niveles. Cada impacto se codifica como positivo o negativo. Para ello, se tiene en cuenta la relación de cada variable con la usabilidad, no solo si aumenta o disminuye. Por ejemplo, si el aumento del número de fijaciones es negativo para la usabilidad y una recomendación reduce el número de fijaciones se codifica con “+”.

En líneas generales, se puede decir que la **mayoría de recomendaciones analizadas contribuyen positivamente a la usabilidad** (tabla 5.34). Sin embargo, en algunas recomendaciones, como disponer de la opción “señalar y hacer clic” (P4), la mejora no es del todo clara. Incluso recomendaciones como “Ir arriba” (P2) empeoran la usabilidad.

En cuanto al tipo de menú, los menús 4 y 3 son los que más contribuirían a la usabilidad; y los menús 1 y 2 son los que más dificultarían la usabilidad.

5.6. Influencia del perfil de usuario

En la sección 6.2 se discutirá la validez de las distintas recomendaciones de usabilidad en función del perfil de usuario para validar la hipótesis 2, analizando en detalle su impacto en cada una de las variables e interpretando los resultados.

Como paso previo, en las tablas 5.35 y 5.36 se muestran de forma resumida los impactos significativos de las siete recomendaciones de usabilidad en cada

N	Variables	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7															
								M1	M2	M3	M4	M5											
1	VG																						
	VU							+	-	+	+	+	-										
2	CP1		+	+																			
	CP2																						
	CP3																						
	CP4																						
	CP5																						
3	Duración				-	-			-	-	+		-					+					
	Finaliz.																						
4a	GSR								-	+	+	-	-					+					
	HRV								-		-	+	+					+					
	EMGc								-	+		-						+					
4b	EMGz				-				+		-	+	+										
	Fijac		+						-	-		+	+										
	Fijac/s								-			-	+					+					
	Amp. Sac								+	-		-	+					-					
Recuento	Ratio		+		-				+	-		+	+										
	Valoración		2		-2		2		0		-7		3		-8		-4		6		7		1
			P		N		P		I		N		P		N		P		P		P		P

Tabla 5.34: Resumen contribución a la usabilidad de todas las recomendaciones (P1-P7). En todas se muestra el efecto de su presencia; excepto para los menús (P7 es un factor de cinco niveles) que se muestra el efecto de la presencia de los cinco tipos de menús. Solo se muestran los impactos significativos. Se codifica el impacto significativo en cada variable mediante “+” (positiva) o “-” (negativa). En la última fila se muestra la valoración total que se codifica en “P” (positiva), “N” (negativa) o “I” (incertidumbre, cuando el número de impactos positivos y negativos son similares).

una de las variables de los cuatro niveles, distinguiendo según el perfil de usuario. Para ello, se tiene en cuenta la relación de cada variable con la usabilidad, no solo si aumenta o disminuye. Por ejemplo, si el aumento de la longitud de los sacádicos es positivo para la usabilidad y una recomendación reduce dicha longitud, se codifica con “-”.

En líneas generales, se puede decir que **la mayoría de recomendaciones contribuyen a mejorar la usabilidad de los usuarios con limitación motora**. En cambio, existen pocos efectos en las variables para los **usuarios control** y además, en la mayoría de casos, con un **impacto negativo** en la usabilidad.

Además, mientras que la presencia de las distintas recomendaciones tiene un impacto en la mayoría de variables fisiológicas y de seguimiento de la mirada en los usuarios con limitación motora, el principal impacto en los usuarios control se debe al tiempo para finalizar la tarea

5.7. Comparativa de la sensibilidad entre las variables de los distintos niveles

En la sección 6.3 se discutirá la sensibilidad de las variables de los distintos niveles a los efectos de las recomendaciones de usabilidad para validar la hipótesis 3.

Como paso previo, en la tabla 5.37 se resume la sensibilidad que tienen los distintos niveles a través de los efectos de los factores y su nivel de significación de cada nivel.

El nivel de significación de cada variable se ha mostrado previamente en las tablas 5.8, 5.13, 5.16, 5.21 y 5.28 de la sección 5.4. Para facilitar la comprensión de la tabla 5.37, se ha decidido marcar el nivel de significación más alto conseguido por cualquier variable del nivel para cada uno de los factores.

Las variables de Nivel 4 permiten detectar la influencia de todas la recomendaciones de usabilidad, así como la **influencia** debido al **perfil de usuario** y su interacción con las recomendaciones de usabilidad. Además, el nivel de significación es el más alto ($p < 0,001$).

No obstante, las variables de Nivel 3 se acercan a los resultados obtenidos mediante las variables de Nivel 4, debido, principalmente, a la variable duración de la tarea. Sin embargo, no son capaces de detectar la influencia de algunas recomendaciones como “Ir a inicio” o “Mapa web”, ni la interacción de otras recomendaciones con el perfil de usuario, como “Señalar y hacer clic”.

N	Variable	Recomendaciones (P1-P6)											
		P1		P2		P3		P4		P5		P6	
		L	C	L	C	L	C	L	C	L	C	L	C
1	VG												
	VU												
2	CP1			+	+	+	+						
	CP2												
	CP3												
	CP4									-			
	CP5												
3	Duración		-	+	-		-	-	-		-	+	-
	Finaliz. #	+										+	
4a	GSR									-		+	
	HRV	+	-	*	*				-	-	-		
	EMGc	+		+						-		+	
	EMGz			-	-			+	+	-			
4b	Fijac	+	-	+	-	+	-	-	-	-	-	+	-
	Fijac/s	+		+	-			-					
	Amp. Sac	+	-	-				+	+	-			
	Ratio	+		-		+		+		-		+	
Recuento		7	-4	2	-3	3	-1	0	-1	-8	-3	6	-2
Valoración		P	N	P	N	P	N	I	N	N	N	P	N

Tabla 5.35: Resumen contribución de las recomendaciones (P1-P6) por perfil de usuario (Limitación Motora: L; Control: C).

Solo se muestran los impactos significativos en cada variable. Los impactos se codifican mediante “+” (positiva) o “-” (negativa). La última fila se muestra la valoración en conjunto que se codifica en “P” (positiva), “N” (negativa) o “I” (Incertidumbre). significativas.

#: La finalización de la tarea solo aplica a los usuarios con limitación motora.

*: La interacción era significativa pero las pruebas post-hoc no mostraron diferencias.

N	Variables	P7 -Tipo de Menú (M=1-5) -									
		Limitación Motora					Control				
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1	VG		-		+	-		-		+	-
	VU							-	+	+	
2	CP1						-		+	+	+
	CP2										
	CP3										
	CP4			+	+	-					
	CP5										
3	Duración	+	+		-	-	+	-	+	+	+
	Finaliz. #										
4a	GSR	+	+	-	-	+					
	HRV		-	+		+	-	-	-	+	
	EMGc			-	+	+	-	+	-	+	+
	EMGz	-			+	+					
4b	Fijac		-	+		-	-	+		+	
	Fijac/s	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+
	Amp. Sac	-	-	-	-	+	-	-	-	+	+
	Ratio	-	-	+	-			-	+		-
Recuento		-2	-2	2	1	2	-3	-3	0	9	3
Valoración		N	N	P	P	P	N	N	I	P	P

Tabla 5.36: Resumen contribución del tipo de menú (P7) por perfil de usuario. P7 es un factor de cinco niveles, por lo que se muestra el efecto de la presencia de los cinco tipos de menús. Solo se muestran los impactos significativos en cada variable.

Los impactos se codifican mediante “+” (positiva) o “-” (negativa). En la última fila se muestra la valoración en conjunto que se codifica en “P” (positiva), “N” (negativa) o “I” (Incertidumbre).

#: La finalización de la tarea solo aplica a los usuarios con limitación motora.

Factor	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4a	Nivel 4b	
Recomendaciones	“Tr a inicio”	-	-	***	-	***
	“Tr arriba”	-	*	-	*	***
	“Mapa web”	-	*	-	-	**
	“Señalar y hacer clic”	-	-	**	*	***
	“Imagen de fondo”	-	-	*	***	***
Aprendizaje	“Migas”	-	-	**	***	*
	“Menú”	***	**	***	***	***
Aprendizaje	Sesión (S)	-	*	***	***	***
	Repetición (R)	-	-	***	***	***
Influencia usuario	Limitación Motora (LM)	***	***	***	***	***
	Sesión*LM	-	-	*	***	***
	Repetición*LM	-	-	-	***	-
	“Tr a inicio”*LM	-	-	**	***	***
	“Tr arriba”*LM	-	-	***	***	***
	“Mapa web”*LM	-	-	***	-	***
	“Señalar y clic”*LM	-	-	-	***	***
	“Imagen de fondo”*LM	-	*	*	***	***
	“Migas”*LM	-	-	***	***	***
	“Menú”*LM	*	**	***	***	***

Tabla 5.37: Comparativa del nivel de significación de las distintas variables de usabilidad de cada uno de los niveles. Nivel 4a y Nivel 4b corresponden a las variables fisiológicas y de seguimiento de la mirada. Diferencias significativas ($p < 0,05$): “-” $p > 0,05$; “*” $0,01 < p < 0,05$; “**” $0,001 < p < 0,01$; y “***” $p < 0,001$.

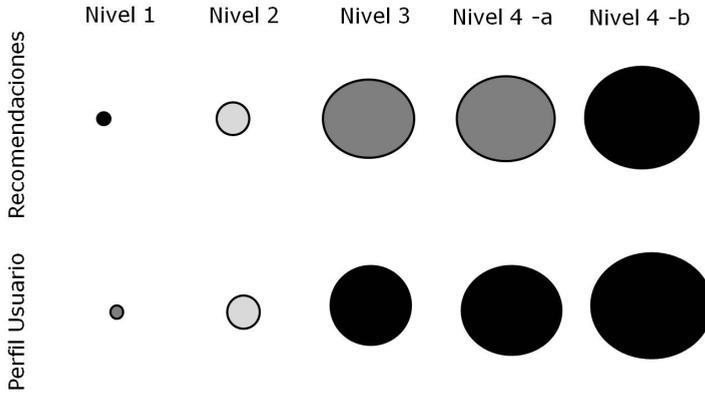


Figura 5.16: Nivel de sensibilidad del conjunto de variables de cada nivel para detectar el efecto debido a las recomendaciones de usabilidad y el perfil de usuario. Codificado en función del diámetro y color. El diámetro del círculo representa el número de recomendaciones que permiten detectar, a mayor diámetro mayor número de recomendaciones detectadas. La escala de grises representa el nivel de significación, desde blanco ($p=0,05$) hasta negro ($p<0,001$). Los niveles 4-a y 4-b se corresponden con las variables fisiológicas y el seguimiento de la mirada, respectivamente.

Por el contrario, la capacidad de las variables de Nivel 1 y 2, que se corresponden con variables subjetivas, no aportan prácticamente información sobre la influencia de las recomendaciones de usabilidad ni del perfil de usuario.

Las diferencias de sensibilidad de los distintos niveles se muestran de forma gráfica en la figura 5.16.

En el análisis de los resultados, hay que tener en cuenta que el número de muestras en las variables de Nivel 3 y 4 es mayor que en el caso de las variables subjetivas, Nivel 1 y 2. No obstante, es una limitación implícita de la propia metodología, ya que no es viable que el usuario complete un cuestionario después de finalizar cada tarea en cada repetición y sesión.

En la sección 6.3 se discute sobre la sensibilidad de cada nivel, profundizando en cada una de sus variables.

5.8. Caracterización del proceso de aprendizaje

En la sección 6.4, se discutirá sobre los procesos de adaptación, evolución a lo largo de repeticiones; y aprendizaje, evolución a lo largo de sesiones. Como paso previo, a continuación se sintetizan los resultados que se han obtenido.

Durante la sección 5.4, se han analizado ambos conceptos de forma independiente, donde se esperaba encontrar una mejora de las variables, desde el punto de vista de la usabilidad, a lo largo de las repeticiones y de las sesiones. Esta mejora se ha comprobado para variables como el tiempo empleado o la finalización de la tarea, las cuales disminuyen y aumentan, respectivamente, a lo largo de las repeticiones y sesiones como se puede comprobar en el apartado 5.4.3. Sin embargo, se han encontrado algunos comportamientos no esperados, especialmente para las señales fisiológicas y las variables asociadas a la mirada, como se ha mostrado en los apartados 5.4.4 y 5.4.5.

Cabe resaltar que el análisis por separado de las repeticiones y sesiones puede enmascarar una información de mayor detalle, la cual aparece cuando se analizan de forma conjunta la evolución a lo largo de las repeticiones y sesiones, lo que podría explicar parte de los comportamientos no esperados. En concreto, el nivel conseguido en la última repetición de una sesión puede ser mejor que el conseguido en la primera repetición de la siguiente sesión, debido a que no todo lo que se aprende a corto plazo (entre repeticiones) queda fijado en la memoria a largo plazo (entre sesiones), efecto que se ha encontrado previamente en otras investigaciones [61].

Este proceso de “desaprendizaje” entre sesiones, se ve claramente en las figuras 5.17, 5.18 y 5.19 para las variables anteriores como la finalización de la tarea o el tiempo empleado, pero también para el número de fijaciones o la variabilidad del ritmo cardíaco (HRV). Estos resultados permiten explicar el comportamiento extraño que se había detectado para la evolución del HRV a lo largo de las sesiones y repeticiones. Sin embargo, como ya se había adelantado en los apartados 5.4.4 y 5.4.5, y a pesar de haber tenido en cuenta el efecto de “desaprendizaje”, **la evolución del resto de variables fisiológicas y de la mirada sigue sin tener el comportamiento esperado** (figuras 5.18 y 5.19). En la discusión, se profundizará sobre las causas que han impedido analizar las curvas de adaptación y aprendizaje con la mayoría de señales fisiológicas y del seguimiento de la mirada.

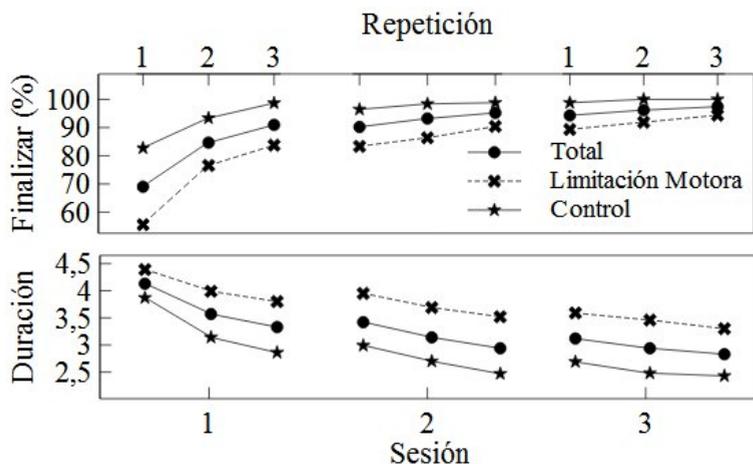


Figura 5.17: Proceso de adaptación (entre repeticiones) y aprendizaje (entre sesiones) en función del perfil de usuario para las variables tradicionales.

5.9. Extracción de un modelo de usabilidad: Evaluación de la relación entre los distintos niveles

A continuación, se muestran los resultados obtenidos para alcanzar el objetivo 12, la definición de un modelo de usabilidad analizando las relaciones entre las variables de los cuatro niveles.

En primer lugar, se muestran las correlaciones significativas ($p < 0.05$) entre cada uno de los niveles. El valor de la correlación se ha codificado en función del grosor, que aumenta con el valor de la correlación, y tipología de la línea para indicar una correlación positiva o negativa (figura 5.20). Los resultados de las correlaciones entre los distintos niveles se muestran para la totalidad de usuarios, así como las diferencias en función del perfil de usuario.

Por último, a partir de los resultados obtenidos se propone un modelo simplificado de la valoración general de la web y de la usabilidad.

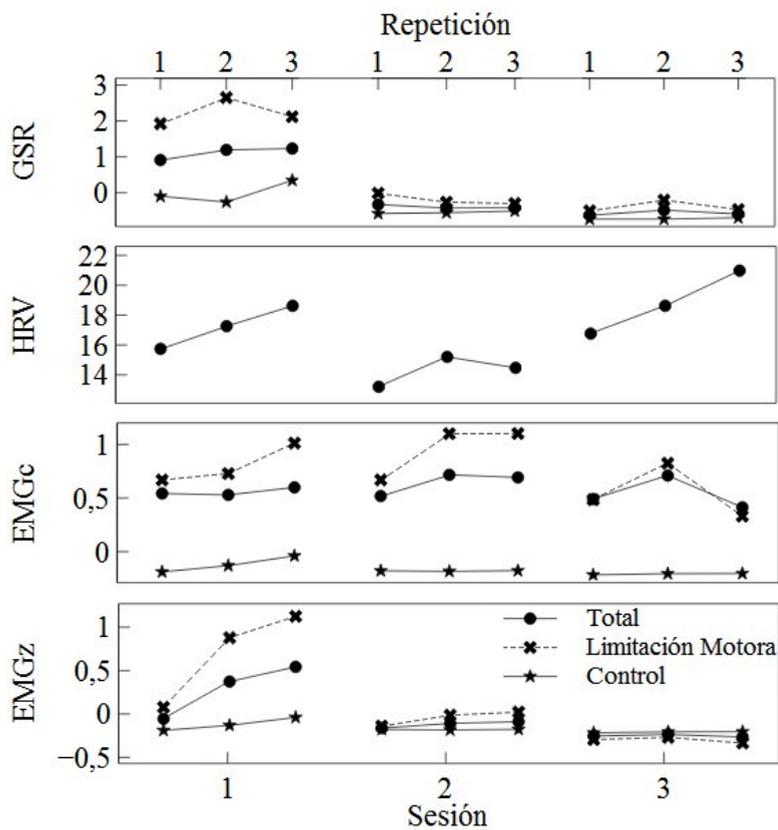


Figura 5.18: Proceso de adaptación (entre repeticiones) y aprendizaje (entre sesiones) en función del perfil de usuario para las variables fisiológicas.

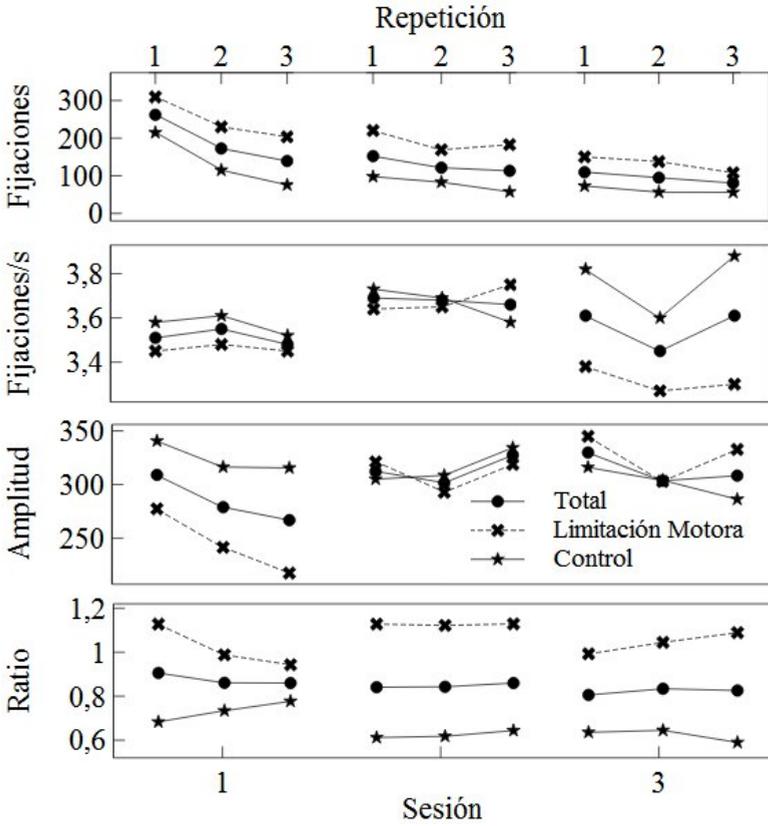


Figura 5.19: Proceso de adaptación (entre repeticiones) y aprendizaje (entre sesiones) en función del perfil de usuario para las variables del seguimiento de la mirada.

Nivel 2	Nivel 1					
	Valoración Global			Valoración Usabilidad		
	T	LM	C	T	LM	C
CP1	0,59	0,70	0,55	0,33	0,60	0,27
CP2	0,31	0,11	0,52	0,18	0,17	0,22
CP3	0,09	0,13	-0,12	0,47	0,26	0,42
CP4	0,40	0,65	0,02	0,39	0,40	0,19
CP5	-0,07	0,04	-0,171	-0,40	-0,23	-0,42

Tabla 5.38: Valores de correlación entre variables de los niveles 1 y 2. Para el conjunto de usuarios (T) y distinguiendo por perfil de usuario: usuarios con limitación motora (LM) y sujetos control (C). Correlaciones significativas ($p < 0,05$) se destacan en negrita.

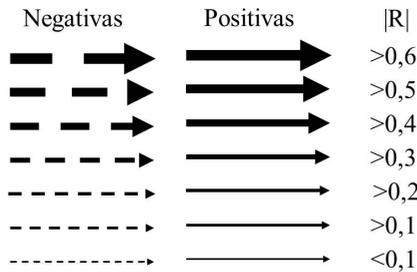


Figura 5.20: Codificación del nivel (R) y signo de las correlaciones.

5.9.1. Relaciones entre variables del primer y segundo nivel

En la figura 5.21a se muestran las correlaciones entre las variables de primer y segundo nivel para el conjunto de usuarios. Cabe destacar que existe una correlación de 0,48 entre las dos preguntas del primer nivel: “Valoración global de la web” y la “Valoración global de usabilidad”.

La componente CP1 “Diseño y Estética adecuada” es la que tiene mayor peso en la valoración global de la web (tabla 5.38). En cambio, la componente CP3 “Fácil de encontrar y sin errores” y CP5 “Necesidad de aprender” son las que tienen mayor peso en la valoración global de la usabilidad, siendo la correlación negativa para la segunda de ellas (tabla 5.38).

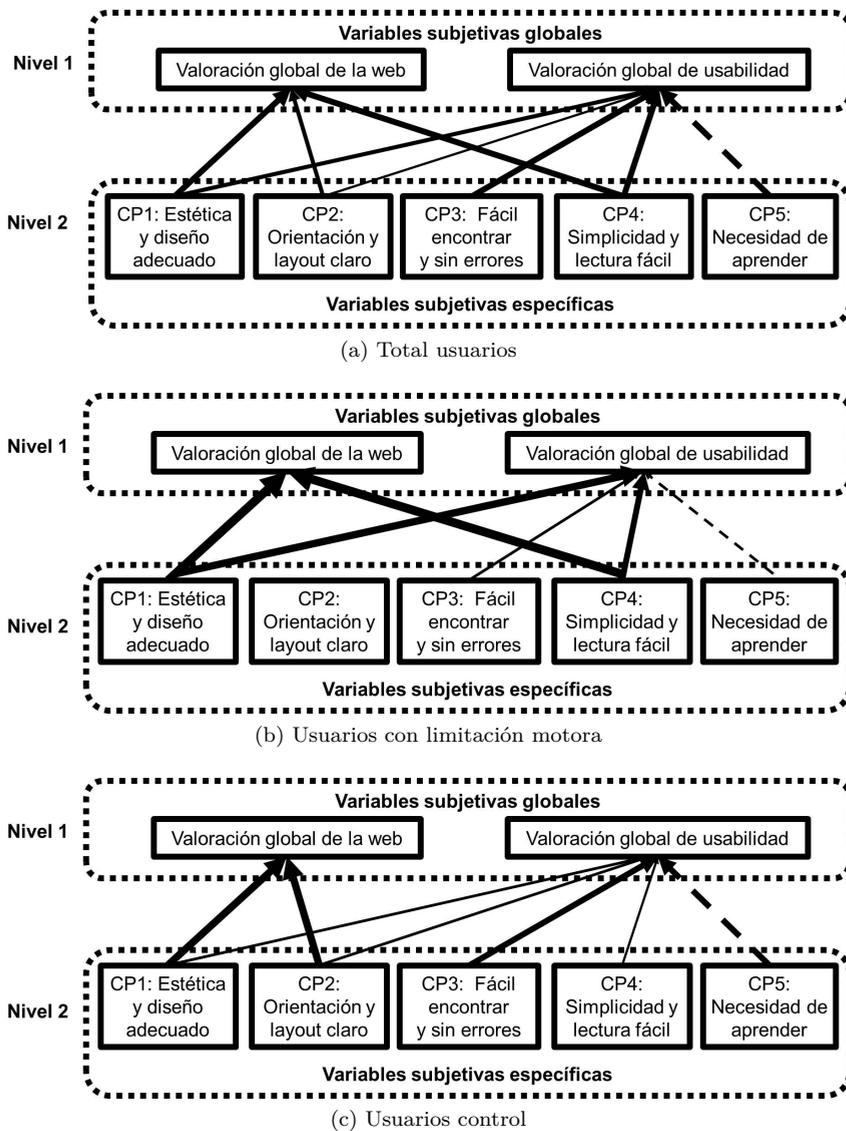


Figura 5.21: Diagrama de correlaciones entre las variables de los niveles 1 y 2.

En la figura 5.21b se representan las correlaciones entre las variables de primer y segundo nivel para los **usuarios con limitación motora**. Al igual que para el conjunto de usuarios, existe una correlación significativa entre la “Valoración global de la web” y la “Valoración global de usabilidad”, aunque con un valor superior (0,53). Esto parece indicar que la usabilidad tienen una mayor peso en la valoración global de la web para los usuarios con limitación motora.

La componente CP1 “Diseño y Estética adecuada” es también la que tiene mayor peso en la valoración global de la web. Igualmente, la componente principal CP4 “Simplicidad y lectura fácil” tiene un peso muy similar (tabla 5.38).

En cuanto a la valoración global de la usabilidad, existe un hecho llamativo, ya que la componente con mayor peso es la CP1 “Estética”. El resto de componentes tiene un peso similar, a excepción de la componente CP2 “Orientación y layout claro”, cuya correlación no es significativa (tabla 5.38).

Finalmente, en la figura 5.21c se representan gráficamente las correlaciones entre las variables de primer y segundo nivel para los **usuarios control**. Al igual que para los usuarios con limitación motora, existe una correlación significativa entre la “Valoración global de la web” y la “Valoración global de usabilidad”, aunque con un valor inferior (0,50). Estos resultados parecen indicar que la usabilidad tiene menor peso en la valoración global de la web para los usuarios sin limitación motora, aunque las diferencias son muy sutiles.

La componente CP1 “Estética y diseño adecuada” es la que tiene mayor peso en la “Valoración global de la web”. Sin embargo, para este grupo, la componente principal CP2 “Orientación y layout claro” también un peso muy similar (tabla 5.38), sustituyendo la importancia que tenía la componente CP4 “Simplicidad y orden” para los usuarios con limitación motora.

En cuanto a la valoración global de la usabilidad, las componentes con mayor peso son la CP3 “Fácil de encontrar y sin errores” y CP5 “Necesidad de aprender”, con correlaciones positivas y negativas respectivamente. En cambio las otras componentes, CP1 “Diseño y estética adecuados” y CP2 “Orientación y layout claro”, tienen un peso menor. Este resultado cambia considerablemente respecto a los usuarios con limitación motora, donde la componente CP1 “Diseño y estética adecuados” tenía un mayor peso.

5.9.2. Relaciones entre las variables del primer y tercer nivel

En la figura 5.22a se muestran las correlaciones entre las variables de primer y tercer nivel para el conjunto de los usuarios. Cabe resaltar que entre las

Nivel 3	Nivel 1					
	Valoración Global			Valoración Usabilidad		
	T	LM	C	T	LM	C
Tiempo	-0,03	0,16	-0,27	-0,32	0,160	-0,26
Finalización	-	-0,08	-	-	0,019	-

Tabla 5.39: Valores de correlación entre las variables de nivel 1 y 3. Para el conjunto de usuarios (T) y distinguiendo por perfil de usuario: usuarios con limitación motora (LM) y sujetos control (C). Correlaciones significativas ($p < 0,05$) se destacan en negrita. Las correlaciones con la finalización de la tarea se han limitado a los sujetos con limitación motora por la baja variabilidad tanto en el conjunto de usuarios como para los usuarios control (-).

variables del tercer nivel, tiempo y finalizar la tarea, existe un correlación negativa significativa de 0,30.

El tiempo empleado para finalizar la tarea está correlacionado negativamente con la valoración de la usabilidad (tabla 5.39). En cuanto a la variable finalizar tarea, solo se ha calculado la correlación para los usuarios con limitación motora, debido a la baja variabilidad tanto para el global de los usuarios como para los sujetos control (ver sección 5.4.3).

A continuación, en la figura 5.22b se representan las correlaciones entre las variables de primer y tercer nivel para los **usuarios con limitación motora**.

Ni el tiempo ni la finalización de la tarea están relacionadas con ninguna de las dos variables del nivel 1 (tabla 5.22b), a diferencia del análisis general donde el tiempo estaba relacionado negativamente con la usabilidad. Este resultado refuerza la idea que la medida del tiempo necesario para finalizar la tarea no es suficiente para evaluar la usabilidad, especialmente para usuarios que tienen limitadas sus capacidades y/o habilidades.

Finalmente, en la figura 5.22c se muestra gráficamente las correlaciones entre las variables de primer y tercer nivel para los **usuarios control**. El tiempo está relacionado negativamente con la valoración de la usabilidad y con la valoración global de la web (tabla 5.22b).

Estos resultados muestran que si bien el tiempo necesario para finalizar la tarea es clave para la valoración global de usabilidad en los usuarios control, no lo es así en los usuarios con limitación motora.

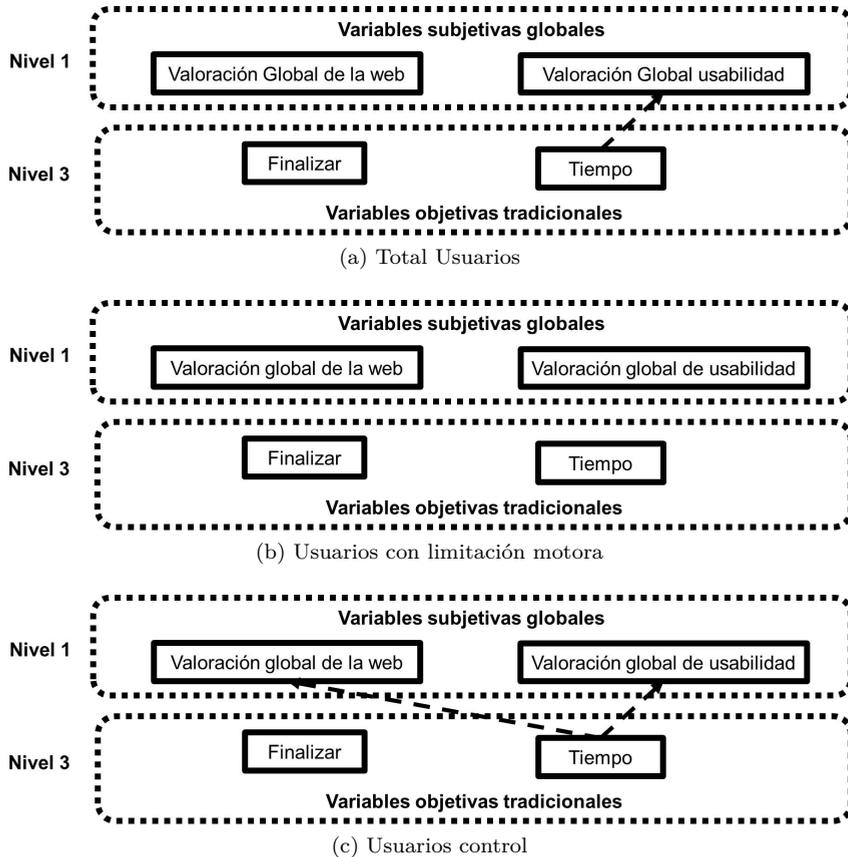


Figura 5.22: Diagrama de correlaciones entre las variables de nivel 1 y 3.

5.9.3. Relaciones entre las variables del primer y cuarto nivel

En la figura 5.23a se describen las correlaciones entre las variables de primer y cuarto nivel para el conjunto de usuarios.

Se observa que la variabilidad del ritmo cardíaco, la longitud de los sacádicos y el número de fijaciones están relacionados con la valoración de la usabilidad, siendo las dos primeras relaciones positivas y la última negativa (tabla 5.40). Además, solo la variabilidad del ritmo cardíaco está correlacionada con la valoración global de la web.

Los resultados anteriores se desglosan en función del perfil de usuario. Así, en la figura 5.23b se describen las correlaciones entre las variables de primer y cuarto nivel para los **usuarios con limitación motora**. Los resultados de la valoración global son bastante similares a los obtenidos para el conjunto de usuarios, siendo la variabilidad del ritmo cardíaco la variable con mayor influencia positiva ($p=0,06$), además de una correlación negativa con la longitud de los sacádicos (tabla 5.40). Sin embargo, no existe ninguna correlación significativa con la valoración global de la usabilidad.

Finalmente, en la figura 5.23c se representa gráficamente las correlaciones entre las variables de primer y cuarto nivel para los **usuarios control**. Sólo el número de fijaciones está relacionado, de forma negativa, con la valoración de la usabilidad (tabla 5.40). Además, tanto la actividad sobre el corrugador y la variabilidad del ritmo cardíaco, como el número de fijaciones, tienen una correlación de mayor peso en la valoración global de la web. De hecho, el número de fijaciones, que está correlacionado con la duración de la tarea, es la correlación de mayor peso.

5.9.4. Relaciones en las variables del segundo y tercer nivel

En la figura 5.24a se describen las correlaciones entre las variables de segundo y tercer nivel para el conjunto de usuarios.

Se observa que el tiempo necesario para finalizar la tarea está relacionado negativamente con la componente CP3 “Facilidad de encontrar y sin errores”, y positivamente con la componentes CP1 “Estética y diseño adecuado” y CP5 “Necesidad de aprender” (tabla 5.41). En cuanto a la finalización de la tarea, como ya se ha explicado, su cálculo de correlaciones se ha limitado a los usuarios con limitación motora.

Los resultados anteriores difieren en función del perfil de usuario. Por un lado, en la figura 5.24b se representan las correlaciones entre las variables de

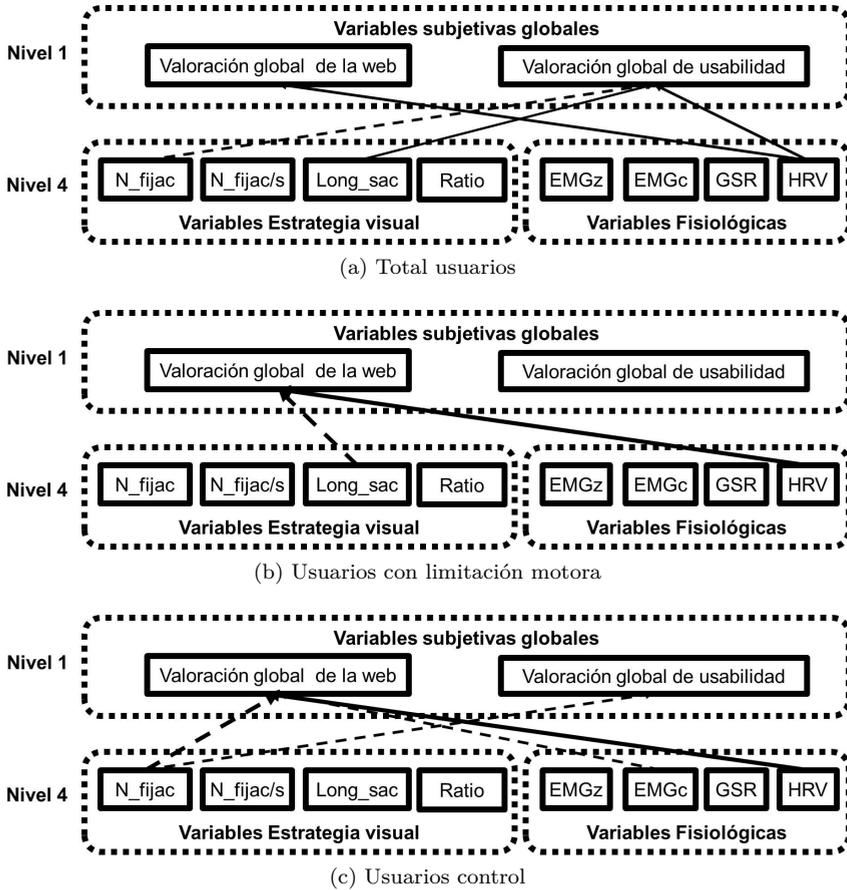


Figura 5.23: Diagrama de correlaciones entre las variables del nivel 1 y 4.

Nivel 4	Nivel 1					
	Valoración Global			Valoración Usabilidad		
	T	LM	C	T	LM	C
EMGz	-0,01	-0,03	-0,12	-0,08	-0,10	0,07
EMGc	-0,06	-0,16	-0,28	-0,04	-0,02	-0,08
GSR	0,02	0,21	0,05	-0,02	0,06	0,08
HRV	0,22	0,31	0,31	0,22	<i>0,19</i>	0,17
Fijaciones	-0,005	0,16	-0,34	-0,27	0,04	-0,28
Fijaciones/s	-0,036	-0,03	-0,05	0,01	-0,14	0,03
Long_sac	-0,078	-0,33	0,16	0,16	0,07	0,13
Ratio duración	0,075	0,18	-0,09	-0,02	0,16	0,02

Tabla 5.40: Valores de correlación entre las variables del nivel 1 y 4. Para el conjunto de usuarios (T) y distinguiendo por perfil de usuario, usuarios con limitación motora (LM) y sujetos control (C). Correlaciones significativas ($p < 0,05$) se destacan en negrita. Valores cercanos a la significación ($p = 0,06$) se destacan en cursiva.

segundo y tercer nivel para los **usuarios con limitación motora**. En este caso, el tiempo necesario para finalizar la tarea tiene un peso similar en la mayoría de componentes, a excepción de la componente CP2 “Orientación y layout claro”, cuya correlación no es significativa (tabla 5.41). Esta es la principal diferencia con el análisis global, donde se relacionaba con la componente CP3 “Facilidad de encontrar y sin errores”.

En concreto, la duración tiene una correlación positiva con la componente CP1 “Diseño y Estética adecuado”, CP5 “Necesidad de aprender” y CP4 “Simplicidad y lectura fácil”; y una correlación negativa con la componente CP3 “Facilidad de encontrar y sin errores” (tabla 5.41).

En cuanto a la finalización de la tarea, ésta tiene una correlación positiva con la componente CP3 “Fácil del Encontrar y sin errores” (tabla 5.41).

Por otro lado, en la figura 5.24c se describen las correlaciones entre las variables de segundo y tercer nivel para los **usuarios control**. En este caso, el tiempo necesario para finalizar la tarea está correlacionado negativamente con la componente CP3 “Facilidad de encontrar y sin errores” y positivamente con la CP5 “Necesidad de aprender” (tabla 5.41). Esta es la principal diferencia con los usuarios con limitación motora, donde se relacionaba con la mayoría de componentes.

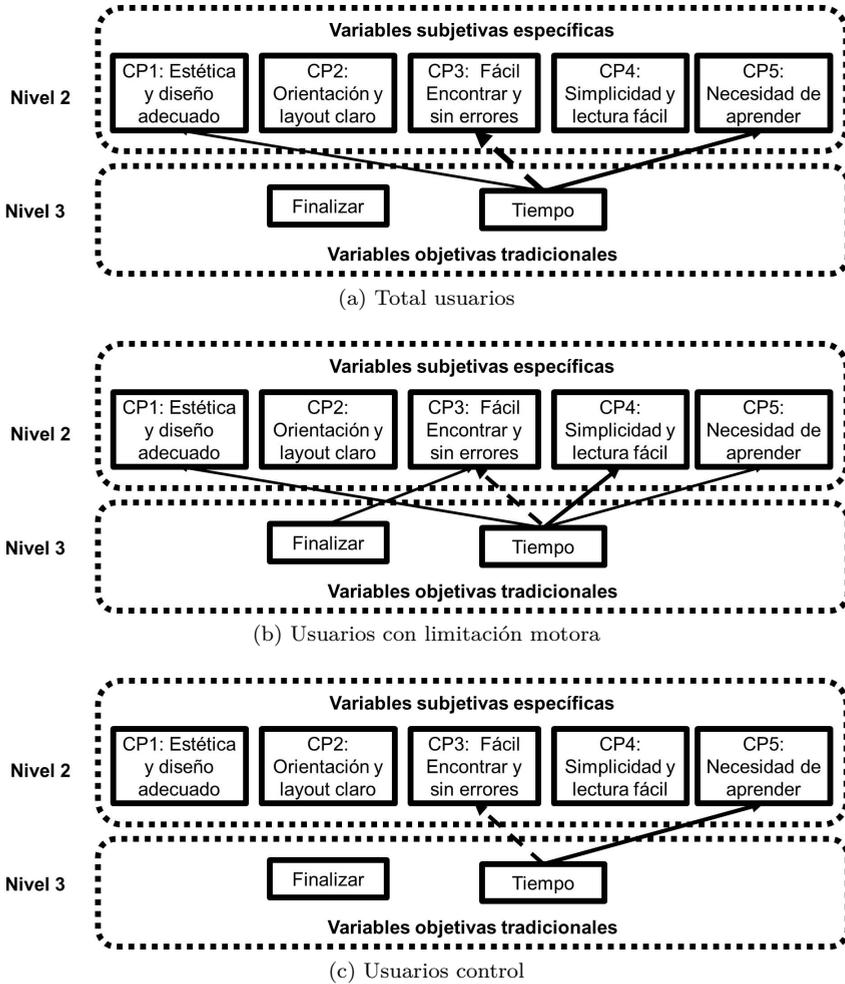


Figura 5.24: Diagrama de correlaciones entre las variables de los niveles 2 y 3.

Nivel 2	Nivel 3			
	Finalizar	Tiempo		
	LM	T	LM	C
CP1	-0.11	0,27	0,26	0,04
CP2	0,03	0,01	0,01	0,06
CP3	0,27	-0,63	-0,38	-0,32
CP4	-0,07	-0,13	0,39	0,14

Tabla 5.41: Valores de correlación entre las variables de los nivel 2 y 3. Para el conjunto de usuarios (T) y distinguiendo por perfil de usuario, usuarios con limitación motora (LM) y sujetos control (C). Correlaciones significativas ($p < 0,05$) se destacan en negrita. Las correlaciones con la finalización de la tarea se han limitado a los sujetos con limitación motora por la baja variabilidad tanto en el conjunto de usuarios como para los usuarios control.

5.9.5. Relaciones entre las variables del segundo y cuarto nivel

En la figura 5.25a se representan las correlaciones entre las variables de segundo y cuarto nivel para el conjunto de usuarios. Todas las componentes están correlacionadas en mayor o menor medida con las variables fisiológicas y del seguimiento de la mirada. La única excepción es la componente CP2 “Orientación y layout claro”, que no se correlaciona con ninguna variable del seguimiento de la mirada (tabla 5.42a).

La componente CP1 “Diseño y Estética adecuado” está correlacionada principalmente con la variabilidad del ritmo cardíaco. Además, también está correlacionada de forma positiva, en menor medida, con el número de fijaciones y el ratio de duración; y de forma negativa con el número de fijaciones por segundo (tabla 5.42a). En cambio, la componente CP2 “Orientación y layout claro” está únicamente correlacionada negativamente con la conductividad de la piel.

En el caso de la componente CP3 “Fácil de encontrar y sin errores”, se correlaciona principalmente, y de forma negativa, con el número de fijaciones y la conductividad de la piel (tabla 5.42a). En cambio, para la componente CP4 “Simplicidad y lectura fácil” ocurre un hecho extraño, ya que está correlacionada positivamente con la conductividad de la piel y negativamente con la longitud de los sacádicos (tabla 5.42a).

En cuanto a la componente CP5 “Necesidad de Aprender”, ésta tiene mayor número de correlaciones aunque de menor valor. En concreto, está relacionada

con la actividad sobre el zigomático, la conductividad de la piel, el número de fijaciones y el ratio de duración (tabla 5.42a).

Los resultados anteriores se pueden desglosar en función del perfil de usuario. Así, en la figura 5.25b se describen las correlaciones entre las variables de segundo y cuarto nivel para los **usuarios con limitación motora**. La mayoría de las componentes están correlacionadas significativamente, en mayor o menor medida, con las variables fisiológicas y del seguimiento de la mirada; excepto las componentes CP2 “Orientación y layout claro” y CP5 “Necesidad de aprender”, que no se correlacionan con ninguna variable del seguimiento de la mirada.

La componente CP1 “Diseño y estética adecuado” está correlacionada principalmente con la variabilidad del ritmo cardíaco, coincidiendo con el análisis global (tabla 5.42a). Sin embargo, en este caso sólo está correlacionada de forma positiva en menor medida con el ratio de duración (tabla 5.42b).

En cambio, la componente CP2 “Orientación y layout claro” está únicamente correlacionada negativamente con la conductividad de la piel, al igual que en el análisis global. Sin embargo, en este caso también esta correlacionada negativamente con la actividad sobre el zigomático mayor (tabla 5.42a).

En el caso de la componente CP3 “Fácil de encontrar y sin errores”, los resultados son iguales que para el análisis global (tabla 5.42a). Al igual que para la componente CP4 “Simplicidad y orden”, con la diferencia que CP4 también está relacionada con el número de fijaciones.

En cuanto a la componente CP5 “Necesidad de aprender”, sólo está correlacionada con las variables de fisiológicas (tabla 5.42a), a diferencia del análisis general donde existían correlaciones con las variables del seguimiento de la mirada.

Finalmente, en la figura 5.25c se proporcionan las correlaciones entre las variables de segundo y cuarto nivel para los **usuarios control**. A diferencia de los usuarios con limitación motora, existen pocas correlaciones entre las variables fisiológicas y del seguimiento de la mirada con las variables de nivel 2. El número de fijaciones es la variable con mayor número y peso de correlaciones. Además, la componente CP1 “Estética y diseño adecuado” es la variable de nivel 2 con mayor número de correlaciones con las variables de nivel 4 (tabla 5.42b).

El número de fijaciones esta correlacionado positivamente con la componente CP5 “Necesidad de aprender” y negativamente con la CP3 “Facilidad de encontrar y sin errores”. Sin embargo, también esta correlacionado positivamente con la componente CP4 “Simplicidad y lectura fácil”.

Por último, la componente CP1 está correlacionada negativamente con la conductividad de la piel y positivamente con la variabilidad del ritmo cardíaco

(tabla 5.42a). Además, también tiene una correlación negativa con el ratio de duración (tabla 5.42b).

La única otra correlación entre variables fisiológicas y componentes principales se da entre la actividad del zigomático mayor y la componente CP3 “Facilidad de encontrar y sin errores” (tabla 5.42a).

5.9.6. Relaciones entre las variables del tercer y cuarto nivel

Por último, en la figura 5.26a se presentan las las correlaciones entre las variables de tercer y cuarto nivel para el conjunto de usuarios.

El tiempo utilizado para finalizar la tarea está correlacionado con todas las variables, a excepción del número de fijaciones por segundo. Sin embargo, como ya se ha comentado con anterioridad, la principal correlación se da para el número de fijaciones (tabla 5.43). En cuanto a la finalización de la tarea, debido a su baja variabilidad, las correlaciones solo se han calculado para los usuarios con limitación motora.

Al igual que en casos anteriores, las relaciones anteriores varían en función del perfil de usuario. En la figura 5.26b se representan gráficamente las correlaciones entre las variables de tercer y cuarto nivel para los **usuarios con limitación motora**. La finalización de la tarea está correlacionada de forma negativa con todas las variables, a excepción del ratio de duración y la variabilidad del ritmo cardíaco. Sin embargo, todos los valores, excepto el número de fijaciones, son pequeños (tabla 5.43).

En cambio, aunque el tiempo utilizado para finalizar la tarea tiene una mayor correlación con el número de fijaciones, también está correlacionado el resto de variables, excepto con el número de fijaciones por segundo. Sin embargo, como en el caso anterior, la única correlación de peso es con el número de fijaciones (tabla 5.43).

Finalmente, en la figura 5.26c se representan las correlaciones entre las variables de tercer y cuarto nivel para los **usuarios control**. El tiempo utilizado para finalizar la tarea está correlacionado principalmente con el número de fijaciones, con un peso superior a 0,5 (tabla 5.43). Además, también está correlacionado con la mayoría de variables fisiológicas, pero con un peso aún menor que en el caso de los usuarios con limitación motora.

5.9.7. Aproximación mediante un modelo simplificado

Los resultados anteriores muestran que existen relaciones claras entre las variables de los diferentes niveles. Sin embargo, la cantidad de relaciones y su

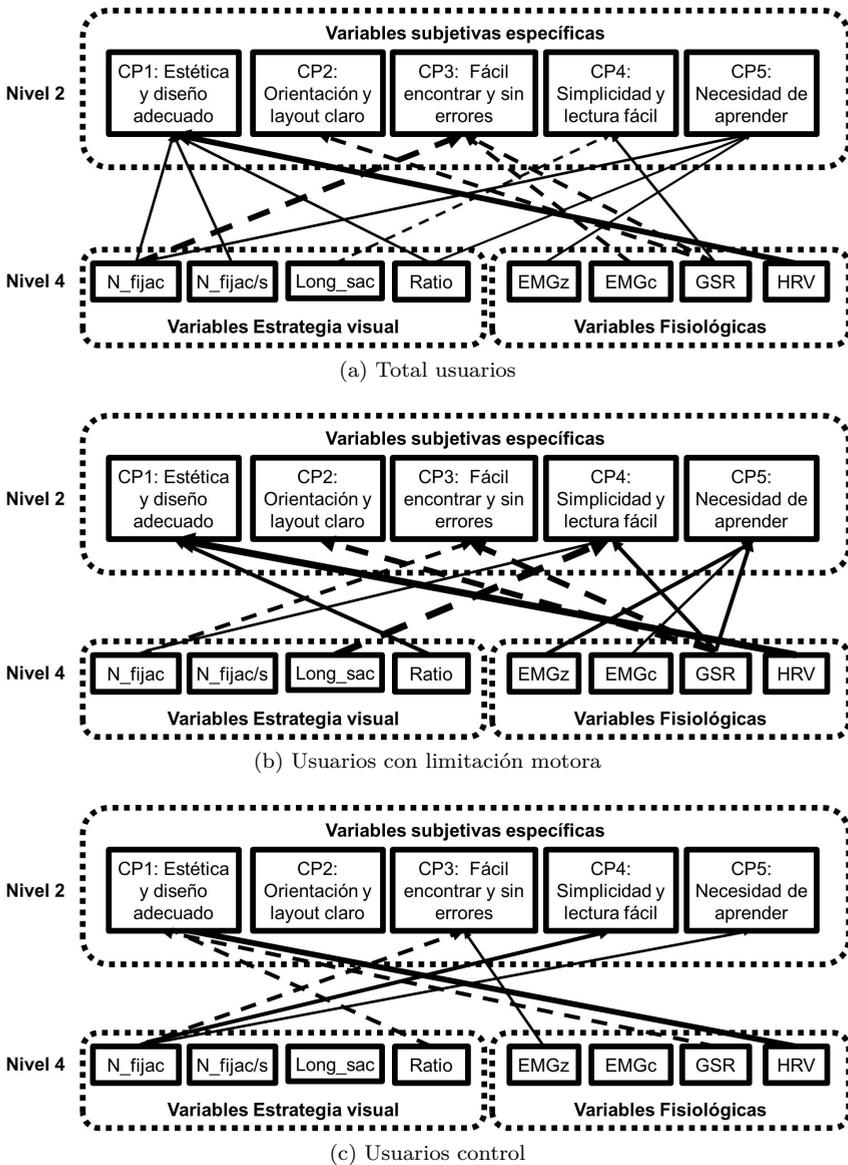


Figura 5.25: Diagrama de correlaciones entre el nivel 2 y el nivel 3.

Nivel 2	Nivel 4											
	EMGz			EMGc			GSR			HRV		
	T	LM	C	T	LM	C	T	LM	C	T	LM	C
CP1	-0,05	-0,05	-0,19	0,02	-0,03	-0,04	0,04	0,21	-0,35	0,40	0,53	0,40
CP2	-0,21	-0,26	-0,13	-0,12	-0,16	-0,07	-0,29	-0,48	-0,01	-0,18	-0,24	-0,14
CP3	-0,13	-0,12	0,27	-0,28	-0,24	-0,03	-0,34	-0,41	-0,08	0,11	-0,06	0,07
CP4	-0,07	0,05	-0,06	-0,07	0,06	-0,12	0,20	0,32	0,23	0,12	0,09	-0,04
CP5	0,16	0,31	-0,11	0,12	0,20	-0,12	0,19	0,30	-0,03	-0,02	0,13	-0,09

(a) Variables asociadas a la respuesta fisiológica

Nivel 2	Nivel 4											
	Fijaciones			Fijaciones/s			Longitud sacádicos			Ratio Duración		
	T	LM	C	T	LM	C	T	LM	C	T	LM	C
CP1	0,23	0,23	-0,11	-0,21	-0,22	-0,18	0,02	0,01	0,12	0,23	0,39	-0,36
CP2	-0,02	0,01	-0,13	-0,01	0,14	-0,23	-0,08	0,03	-0,27	-0,01	0,05	-0,09
CP3	-0,48	-0,34	-0,33	0,01	-0,04	-0,13	0,11	0,17	-0,19	-0,08	0,15	0,01
CP4	0,01	0,28	0,34	0,17	0,08	0,27	-0,27	-0,52	-0,05	-0,15	-0,08	0,21
CP5	0,19	0,11	0,24	-0,10	-0,08	-0,02	0,05	0,14	0,02	0,17	0,17	0,09

(b) Variables del seguimiento de la mirada

Tabla 5.42: Valores de correlación entre las variables de los niveles 2 y 4. Para el conjunto de usuarios (T) y distinguiendo por perfil de usuario: usuarios con limitación motora (LM) y sujetos control (C). Las correlaciones significativas ($p < 0,05$) se resaltan en negrita y los valores cercanos a la significación ($p < 0,09$) se resaltan en cursiva.

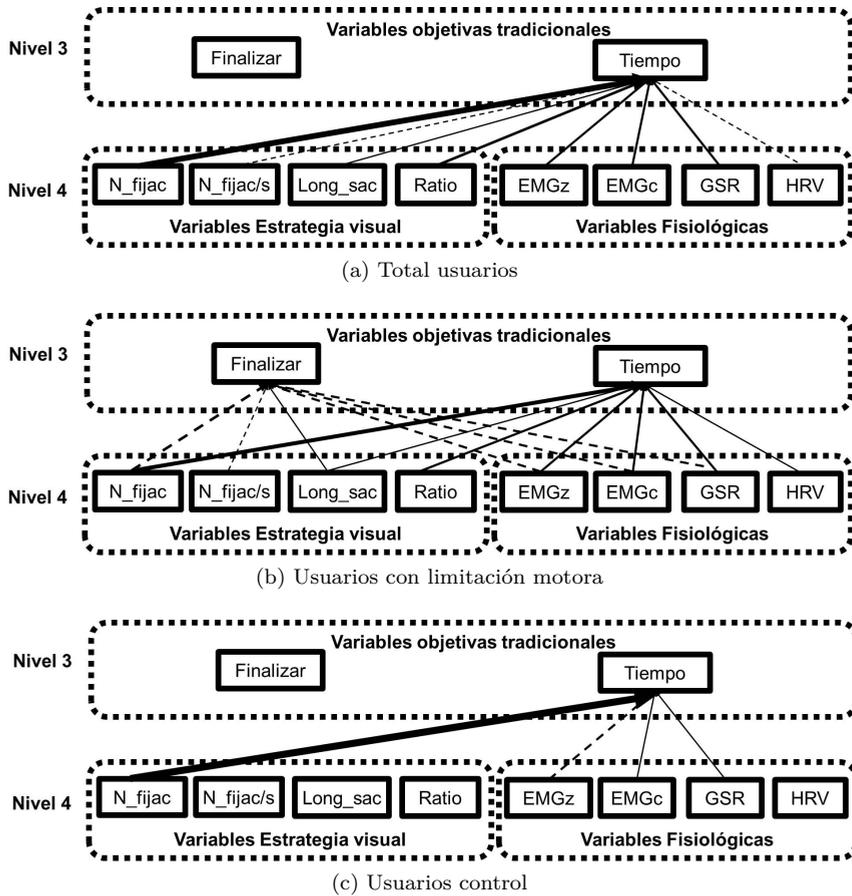


Figura 5.26: Diagrama de correlaciones entre las variables de los niveles 3 y 4.

Nivel 4	Nivel 3			
	Tiempo			Finalizar
	T	LM	C	LM
Fijaciones	0,47	0,34	0,53	-0,23
Fijaciones/s	<i>-0,03</i>	0,01	-0,03	-0,02
Longitud sacádicos	0,03	0,05	0,01	0,02
Ratio duración	0,23	0,11	0,04	-0,00
EMGz	0,14	0,13	0,10	-0,16
EMGc	0,19	0,16	-0,11	-0,17
GSR	0,16	0,15	0,07	-0,10
HRV	-0,06	0,08	-0,02	0,01

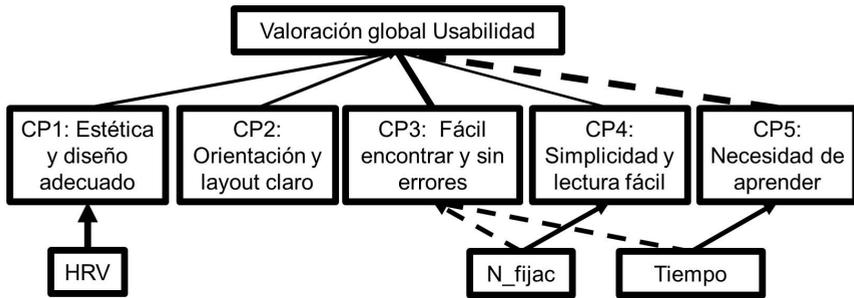
Tabla 5.43: Valores de correlación entre las variables de los niveles 3 y 4. Para el conjunto de usuarios (T) y distinguiendo por perfil de usuario: usuarios con limitación motora (LM) y sujetos control (C). Las correlaciones significativas ($p < 0,05$) se resaltan en negrita y los valores cercanos a la significación ($p = 0,07 - 0,08$) se resaltan en cursiva. Las correlaciones con la finalización de la tarea solo se han calculado para los usuarios con limitación motora.

complejidad no permiten definir de forma clara un modelo con las relaciones causa efecto de todos los niveles.

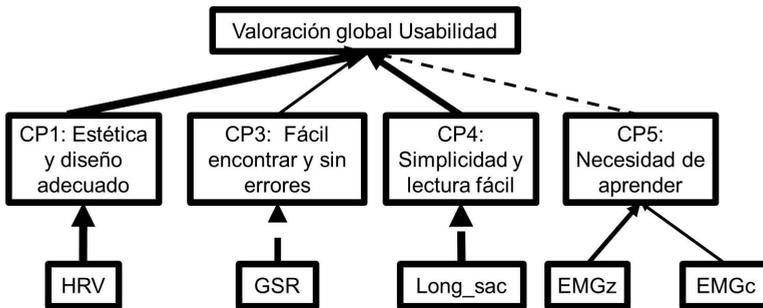
Por ello, se ha decidido mostrar un modelo simplificado, tanto para la valoración de la usabilidad (figura 5.27) como para la valoración global de la web (figura 5.28). Se ha reducido a **3 niveles**, agrupando todas las variables objetivas y solo se muestran las correlaciones de mayor peso entre las variables objetivas (niveles 3 y 4) y el nivel 2. Además, teniendo en cuenta las diferencias en función del perfil de usuario que se han detectado, se muestra un modelo para cada perfil.

En la **valoración global de la usabilidad**, se observa que la componente de mayor peso es CP3 “Fácil de encontrar y sin errores”r para los usuarios control. En cambio, para los usuarios con limitación motora las componentes de mayor peso son CP4 “Simplicidad y orden” y CP1 “Estética y diseño adecuado”.

En ambos grupos, la variabilidad del ritmo cardíaco se ve afectada por la componente estética (CP1). La principal diferencia es que, mientras el tiempo es la variable clave para los usuarios control; las variables fisiológicas y de seguimiento de la mirada, es decir el estado emocional y el patrón de exploración, son clave para los usuarios con limitación motora (figura 5.27).



(a) Usuarios control



(b) Usuarios con Limitación Motora

Figura 5.27: Modelo simplificado de la valoración de la usabilidad.

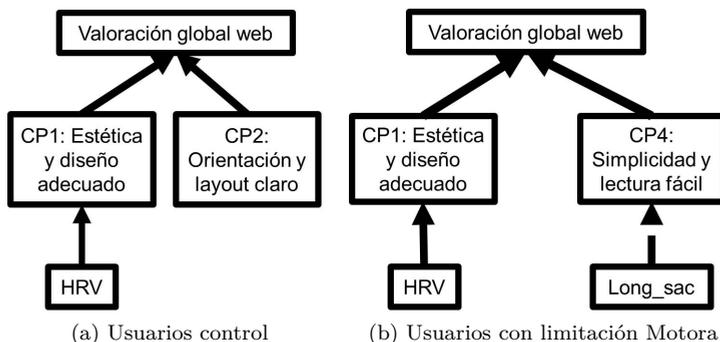


Figura 5.28: Modelo simplificado de la valoración global de la web.

En la **valoración global de la web**, la componente CP1 “Estética y diseño adecuado” tiene una gran peso para ambos perfiles de usuarios. Además, en ambos casos, viene determinada por la variabilidad del ritmo cardíaco (figura 5.28).

La principal diferencia se encuentra en que la componente CP2 “Orientación y layout claro” acompaña a la CP1 para los usuarios control; mientras que la componente CP4 “Simplicidad y lectura fácil” es la que acompaña a la CP1 para los sujetos con limitación motora. Además, la simplicidad está relacionada con la longitud de los sacádicos (figura 5.28).

Capítulo 6

Discusión

Este capítulo se organiza en seis secciones. Las tres primeras giran en torno a las tres hipótesis planteadas al inicio de esta Tesis:

1. En la sección 6.1 se discuten los resultados relacionados con la hipótesis 1 “*Las recomendaciones de usabilidad web proporcionadas por expertos no han sido validadas mediante pruebas con usuarios, pudiendo existir discrepancias entre las opiniones de expertos y los problemas reales de usabilidad de los usuarios*”. En líneas generales, podemos afirmar que la mayoría de recomendaciones mejoran la usabilidad para el conjunto de usuarios. Sin embargo, el efecto de ciertas recomendaciones parece no estar claro o incluso llegan a tener un impacto negativo, como se profundizará en dicha sección.
2. En la sección 6.2 se discuten los resultados relacionados con la hipótesis 2 “*Las recomendaciones de usabilidad web no son válidas para todos los perfiles de usuario sino que dependen de las capacidades y características de cada usuario*”. Al igual que en el caso anterior, podemos decir que la mayoría de recomendaciones mejoran la usabilidad para los sujetos con limitación motora, salvo contadas excepciones. Sin embargo, el efecto en los usuarios control es prácticamente inexistente, llegando, en algunos casos, a impactar de forma negativa en la usabilidad, tal y como se profundizará en dicha sección.
3. En la sección 6.3 se discuten los resultados relacionados con la hipótesis 3 “*Enfoques innovadores como el análisis de la respuesta fisiológica y el seguimiento de la mirada permiten detectar mejor el efecto de las reco-*

recomendaciones de usabilidad que las variables tradicionales como el tiempo o los cuestionarios". Este conjunto de variables ha mostrado una mayor sensibilidad al efecto de las recomendaciones de usabilidad durante la interacción del usuario con la web, contribuyendo a determinar la validez de las recomendaciones de usabilidad y su adecuación según el perfil de usuario. No obstante, es necesario combinar tanto estas aproximaciones como las tradicionales para ser capaz de analizar la usabilidad de forma global, tal y como se mostrará en dicha sección.

Una vez finalizada la discusión de las tres hipótesis de partida, la sección 6.4 se centra en el análisis de los resultados relacionados con los procesos de adaptación y aprendizaje. Para ello, se analiza la evolución de ambos grupos de usuarios a lo largo de las repeticiones y sesiones, y su efecto en las variables de usabilidad utilizadas.

A continuación, en la sección 6.5 se discute el posible origen de algunos resultados contradictorios, centrándolo sobre la interacción de las características de la web desde el punto de vista de la funcionalidad, accesibilidad, usabilidad y estética.

Por último, en la sección 6.6 se muestran las principales limitaciones del trabajo realizado.

6.1. Validez de las recomendaciones de usabilidad propuestas por expertos

En esta sección se discute la validez de las siete recomendaciones analizadas, sin tener en cuenta la influencia del perfil de usuario; analizando su contribución a los conceptos de eficacia, eficiencia y satisfacción, presentes en la definición de usabilidad de la ISO [58].

Para ello, se utilizará de referencia la guía elaborada por Leavitt y Shneiderman [62]. Esta guía además de recopilar más de 200 recomendaciones de usabilidad, evalúa la importancia relativa de cada recomendación para conseguir el éxito de la web y la fuerza de la evidencia de dicha recomendación, utilizando, en ambos casos, una escala de uno a cinco, siendo éste último el máximo valor. Además, también se compara con resultados puntuales obtenidos en otras investigaciones y diversas normativas de usabilidad y ergonomía [246, 247, 64, 58, 46, 47, 48, 13, 49, 50, 248, 57?].

Gran parte de las recomendaciones analizadas contribuyen positivamente a la interacción del usuario con la web, mejorando la usabilidad y coincidiendo con las recomendaciones actuales y los resultados descritos en la guía de Lea-

vitt y Shneiderman [62]. Los resultados que apoyan dicha afirmación se han mostrado de forma resumida en la tabla 5.34, donde se puede ver el impacto de cada recomendación en las distintas variables. Sin embargo, los beneficios de algunas recomendaciones como “Señalar y hacer clic” no resultan evidentes. Incluso, en el caso de la recomendación “Ir arriba” parece que existe un efecto negativo en la usabilidad, a pesar de a que, a priori, debería facilitar la interacción y no dificultarla.

A continuación, se muestra en detalle el análisis para cada una de las siete recomendaciones.

La **recomendación** de disponer de un enlace directo para “**Ir a inicio**” (P1) mejora la usabilidad. Esta afirmación se apoya en los resultados descritos en la tabla 5.34, donde se observa que tiene un efecto positivo en dos de las variables analizadas. Su presencia disminuye el número de fijaciones, que se relaciona con una búsqueda más eficiente [214], y aumenta el ratio de duración, que está relacionado con menores tiempos de búsqueda [221].

Esta mejora de la eficiencia se debe a que permite al usuario ir a la página principal con un solo clic, reduciendo el número de pasos y el uso del scroll durante la navegación, aspectos recogidos en las recomendaciones actuales [246, 247]. Además, los resultados son coherentes con la guía de Leavitt y Shneiderman [62], que le daba una importancia de cinco y una evidencia de tres.

Al igual que en el caso anterior, la recomendación disponer de “**Mapa web**” (P3) también mejora la usabilidad web. De hecho, también tiene un efecto positivo en dos de las variables analizadas (tabla 5.34). Su presencia aumenta el ratio de duración, que está relacionado con menores tiempos de búsqueda [221], mejorando la eficiencia. Además, tiene un impacto positivo en la valoración estética (CP1) de la web por parte de los usuarios, mejorando su satisfacción.

Por lo tanto, el mapa web contribuye positivamente a la usabilidad, mejorando tanto a la eficiencia como la satisfacción, en línea con las recomendaciones actuales [46]. Sin embargo, la guía de Leavitt y Shneiderman [62] solo le daba una importancia de dos y una evidencia de cuatro. Esta valoración se basa en que puede que no contribuya a mejorar el mapa mental del usuario, por lo que no mejoraría su comprensión; aunque sí facilite la navegación si dispone de enlaces directos a cada sección, optimizando el número de pasos necesario para alcanzar los objetivos.

En línea con las recomendaciones anteriores, disponer de “**Migas**” (P6) mejora la usabilidad, con un efecto positivo en tres de las variables analizadas (tabla 5.34). En este caso, además de aumentar el ratio de duración, que está relacionado con menores tiempos de búsqueda [221], impacta positivamente en

dos de las variables fisiológicas. Su presencia reduce el nivel de conductividad de la piel (GSR), asociada al nivel de intensidad emocional [177, 162, 178], por lo tanto, reduciendo el estrés. Además, su presencia también reduce la actividad sobre el corrugador superciliar (EMGc), asociada a valencias negativas de la emoción [155, 156, 157] y a incrementos en el nivel de frustración [188].

Por lo tanto, al igual que en la recomendación anterior, esta recomendación mejora la usabilidad tanto desde el punto de vista de la eficiencia como de la satisfacción. Estos resultados están en línea con las recomendaciones actuales [46], ya que le muestra al usuario en que página se encuentra y las secciones que le preceden. Además, los conceptos de dicha ruta son enlaces directos que le permiten al usuario volver en un solo clic a la sección anterior, reduciendo los pasos de navegación.

Sin embargo, la guía de Leavitt y Shneiderman [62] le daba una importancia de uno y una evidencia de tres. Esta valoración se basaba en que, si bien en un estudio los resultados eran considerablemente mejores cuando se les explicaba a los usuarios su funcionamiento [249]; en otro estudio los resultados no eran tan buenos, ya que los usuarios no estaban acostumbrados a utilizar las migas o no conocían sus ventajas [250].

Cabe resaltar que desde que se elaboró la guía, los usuarios se han ido familiarizando con esta recomendación. Por ejemplo, el 80% de los usuarios que participaron en esta Tesis utilizaban las migas (tabla 5.6). De hecho, un estudio más reciente de Nielsen [81] demostró la utilidad de esta recomendación para mejorar la navegación y la usabilidad de los sitios web.

La utilización de una **“Imagen de Fondo”** (P5) empeora la usabilidad, siendo el resultado más claro que se ha detectado, con un impacto negativo en siete de las variables analizadas (tabla 5.6). En concreto, disminuye el ratio de duración y la amplitud de los sacádicos, lo que significa un mayor tiempo de búsqueda y falta de pistas que ayuden a la navegación [226]; y aumenta el número de fijaciones y el tiempo empleado para realizar la tarea, ambos relacionados con una baja eficiencia, y en este caso particular, con una baja eficiencia para las tareas de búsqueda de información [221]. Además, aumenta la conductividad de la piel (GSR) y disminuye la variabilidad del ritmo cardíaco (HRV), ambos relacionados con un mayor nivel de intensidad emocional o con una mayor necesidad de carga cognitiva; y aumenta la actividad sobre el corrugador superciliar (EMGc), que está relacionado con valencias negativas o con un aumento en el nivel de frustración.

Por lo tanto, la recomendación de no utilizar imágenes de fondo mejora la usabilidad, tanto desde el punto de vista de la eficiencia a nivel de tiempos y carga cognitiva, como desde el punto de vista de la satisfacción. Los resultados coinciden con las recomendaciones de proporcionar suficiente contraste

entre las letras y el fondo [62, 50, 247, 246], y las recomendaciones de disponer de fondos planos en vez de utilizar imágenes o patrones visuales [62] para no dificultar la lectura. Cabe resaltar que Leavitt y Shneiderman [62] le asigna una importancia de cinco y una evidencia de cuatro. Además, esta recomendación también aparece en las pautas de accesibilidad de la WAI [251], por su importancia para usuarios con problemas de visión.

A diferencia de los casos anteriores, el efecto de las recomendaciones “Ir arriba” (P2) y “Señalar y hacer clic” (P4) es menos claro. Por lo que no es posible confirmar que mejoren ni empeoren la usabilidad.

Esta dualidad se ve reflejada en los resultados obtenidos para ambas recomendaciones. La recomendación de disponer de la opción “**Señalar y hacer clic**” (P4) tiene un impacto positivo en tres variables pero también un impacto negativo en otras tres (tabla 5.6).

Por un lado, su presencia aumenta el ratio de duración y la amplitud de los sacádicos, lo que significa un menor tiempo de búsqueda y la presencia de pistas que ayudan a la navegación respectivamente [226]. Además, aumenta la actividad sobre el zigomático mayor, asociado a valencias positivas de las emociones y relacionado con un aumento en la satisfacción [155, 156, 157].

Por otro lado, aumenta el número de fijaciones, número de fijaciones por segundo y el tiempo empleado para realizar la tarea, relacionados con una búsqueda menos eficiente [221] y una baja eficiencia en la relación de tareas respectivamente.

Por lo tanto, no se puede concluir que dicha recomendación mejore la usabilidad, tal y como afirman las actuales recomendaciones de experto [62, 57]. Sin embargo, tampoco se puede afirmar que la empeore, ya que los datos son contradictorios. Su presencia aumenta la satisfacción y la eficiencia desde la perspectiva de la búsqueda de información, pero no disminuye la eficiencia en relación al tiempo empleado para finalizar la tarea.

Cabe resaltar que la guía de Leavitt y Shneiderman 62 le da una importancia de cuatro a proporcionar “feedback” sobre la acción que hay activa en este momento, pero tan solo una evidencia de dos. La funcionalidad de “Señalar y hacer clic” tiene ventajas y desventajas. Por un lado, las opciones del menú cambian de color al pasar el ratón por ellas, aportando feedback visual al usuario. Por otro lado, es necesario realizar un clic para confirmar la acción y desplegar el submenú, por lo que el usuario debe saber que detrás de dicha sección del menú existen más subsecciones. Una opción sería que el menú se desplegara automáticamente pero esto provocaría una acción inesperada por parte del usuario, pudiendo tener también efectos negativos.

Es posible que en esta investigación, los usuarios tuvieran suficiente información sobre la zona activa con la imagen del cursor del ratón, no siendo

totalmente necesario cambiar el color del texto de la opción sobre la que estaba colocado el ratón.

Tal y como se adelantaba, tampoco se puede afirmar ni desmentir que disponer de un enlace directo para “**Ir arriba**” (P2) mejore la usabilidad, ya que tiene un impacto negativo en tres de las variables mientras que solo tiene un impacto positivo en una de ellas (tabla 5.6). Su presencia disminuye el ratio de duración y la amplitud de los sacádicos, que están relacionados con dificultades en la búsqueda de la información y falta de pistas claras para localizar información [226], respectivamente. Además, también disminuye la actividad sobre el zigomático mayor, que está relacionada con una valencia emocional positiva, por lo que disminuye la satisfacción del usuario [155, 156, 157]. El único impacto positivo que tiene es la componente CP1, por lo que los usuarios perciben que contribuye a mejorar el diseño y la estética de la web.

A pesar de su contribución a la percepción estética, la opción “Ir arriba” no mejora ningún aspecto de la usabilidad. Resultado que está en contraposición con las actuales recomendaciones de experto, que recomiendan proporcionar dicha opción cuando las páginas son largas y requieren de un desplazamiento en vertical [46].

Sin embargo, era de esperar que ir rápidamente a la parte superior de la página con un solo clic, sin tener que utilizar el scroll, mejoraría la usabilidad, especialmente para los usuarios con limitación motora. Por ello, en la sección 6.2 se analiza en detalle el efecto de esta recomendación para cada perfil de usuario.

Por último, se ha encontrado cierta variabilidad en los resultados para decidir el tipo de “**Menú**” (P7) más usable. A pesar de ello, podemos decir que los menús 1 y 2 son los que más dificultan la usabilidad, mientras que los menús 3 y 4 son los que contribuyen más positivamente a la usabilidad (tabla 5.34). En concreto, la ausencia de menú en el lado izquierdo (menú 1) tiene un impacto negativo o nulo en más del 90 % de las variables (tabla 5.34), resaltando la **necesidad de utilizar al menos un menú izquierdo**.

En cambio **la ausencia del menú superior no tiene un impacto tan negativo, siempre que se utilice conjuntamente con un menú izquierdo de dos niveles** (menú 4). No obstante, si se utiliza conjuntamente con un menú izquierdo de un nivel (menú 2), los resultados son igual de negativos que para el menú 1, mejorando ligeramente el impacto sobre las variables fisiológicas.

Estos resultados se pueden deber a las limitaciones causadas en la navegación en función del tipo de menú. El menú izquierdo se va adaptando a medida que el usuario se adentra en las secciones de la web, por lo que su ausencia provoca que sea más difícil acceder a la subsección específica deseada. Sin

embargo, esta ventaja se convierte en una desventaja cuando no existe menú superior. Esta desventaja se debe a que al acceder a una subsección cambia el menú izquierdo, y la secciones anteriores no están visibles en dicho menú. Este hecho, unido a que no existe menú superior, dificultan la vuelta al nivel jerárquico anterior.

Cabe destacar que la elección del mejor “Menú” (P7) depende de la complejidad y organización de la información de la web. A priori, disponer de menús tanto en la parte superior como en la izquierda debe tener un impacto positivo, siempre que sean complementarios y coherentes. En cuanto al número de niveles, lo ideal sería disponer de un solo nivel, pero si existe mucha información esto puede provocar menús muy largos, por lo que sería recomendable disponer de dos niveles.

La variabilidad de los resultados no es de extrañar, ya que las actuales recomendaciones dan pautas sobre el número máximo de opciones, el nivel máximo de jerarquía, conseguir un equilibrio entre opciones y niveles de jerarquía [46], o las posibilidades que aportan combinar menús a la izquierda y en la parte superior. En cambio, no existe una única solución acerca del menú más adecuado, ya que depende del contexto y objetivo de la web, la cantidad de información y el perfil de usuario. Pero tampoco existe una fórmula que permita elegir el mejor menú en base a los condicionantes anteriores. Además, existen notables diferencias según el perfil de usuario que se discuten en la sección 6.2.

En líneas generales, la **mayoría de recomendaciones** analizadas **contribuyen positivamente a la usabilidad** para el conjunto de usuarios (tabla 5.34), a pesar de algunos resultados puntuales donde existen contradicciones o claros efectos negativos. No obstante, la aparición de estas excepciones destacan la **necesidad de realizar pruebas con usuarios** para comprobar la validez de dichas recomendaciones. Además, hay que tener en cuenta que se han seleccionado recomendaciones ampliamente extendidas y en las que existía bastante consenso sobre su mejora de usabilidad web. Por tanto, los resultados podrían ser bastante más contundentes en recomendaciones más recientes o que hayan generado cierta controversia sobre su contribución a la usabilidad.

Los resultados anteriores muestran la necesidad de combinar las evaluaciones heurísticas, o de experto, con las pruebas con usuarios; coincidiendo con estudios previos que han demostrado las ventajas que supone el combinar ambas aproximaciones [78, 69], ya que permiten obtener información complementaria. La utilización conjunta de evaluaciones heurísticas y con usuarios permite detectar la mayoría de problemas de usabilidad, tanto de una página web como de cualquier otra aplicación o servicio TIC. De hecho, se pueden detectar más del 90 % de los problemas de usabilidad mediante la participa-

ción de tres a cinco expertos, y de cuatro a cinco usuarios [252] para estudios cualitativos. No obstante, es necesario disponer entre ocho y diez usuarios para la obtención de resultados cuantitativos [253, 252, 78], como se ha hecho en esta Tesis.

6.2. Influencia del perfil de usuario en la validez de las recomendaciones de usabilidad

La mayoría de las recomendaciones utilizadas mejoran sustancialmente la usabilidad para los usuarios con limitación motora, con contadas excepciones como se comenta más adelante. Gran parte de las recomendaciones facilitan al usuario saber en qué parte de la web se encuentra, y lo que es más importante, poder navegar rápidamente de una sección a otra con un solo clic, lo que permite compensar las dificultades de estos usuarios al utilizar el ratón.

Por contra, los usuarios sin limitaciones funcionales, usuarios control, no parece que obtengan excesivo beneficio de la presencia de las recomendaciones de usabilidad. De hecho, incluso algunas de las recomendaciones parecen perjudicar la interacción de los usuarios control.

En las tablas 5.35 y 5.36 ya se ha mostrado de forma resumida el impacto de cada recomendación en las distintas variables según el perfil de usuario. A continuación, se discuten las diferencias en la respuesta de cada tipo de usuario a las recomendaciones de usabilidad.

La utilización de una “**Imagen de Fondo**” (P5) es la única recomendación que tiene el mismo efecto en ambos perfiles de usuarios. En ambos casos, como se ha mostrado en la tabla 5.35, su presencia disminuye la variabilidad del ritmo cardíaco (HRV) y aumenta el número de fijaciones, por lo que afecta negativamente a la satisfacción y a la eficiencia.

Sin embargo, cuatro de las cinco variables que se veían influidas por su presencia en el análisis de la sección anterior, se debe solo a los usuarios con limitación motora ya que no se observa cambios en dichas variables para los sujetos control. Además, para los usuarios con limitación motora también influyen en dos variables más, la actividad sobre el zigomático mayor (EMGz) y en la componente de “Simplicidad y lectura fácil” (CP4). En cambio, su presencia influye en la duración de la tarea para los sujetos control.

En concreto, la presencia de “Imagen de fondo” aumenta la actividad sobre el corrugador (EMGc) y la conductividad de la piel (GSR); y disminuye la actividad sobre el zigomático mayor (EMGz), el ratio de duración, la amplitud de los sacádicos, y la “Simplicidad y lectura fácil” (CP4) en los usuarios

con limitación motora. Por lo tanto, reduce la eficiencia y satisfacción en la realización de las tareas para los usuarios con limitación motora. Por contra, su presencia provoca un aumento del tiempo necesario para finalizar la tarea en los usuarios de control, es decir, reduciendo la eficiencia.

Los problemas que generan su presencia están relacionados con la capacidad visual, que, a priori, debe ser igual en ambos grupos de usuarios. Por lo tanto, es de esperar que no colocar ninguna imagen de fondo mejore la usabilidad para ambos perfiles.

En cambio, la presencia de **“Ir a inicio”** (P1) mejora la usabilidad de los usuarios con limitación motora, mientras empeora la usabilidad para los sujetos control. A partir de los resultados descritos en la tabla 5.35, resulta evidente la contribución positiva a la usabilidad para los sujetos con limitación motora, con un impacto positivo en siete variables. En cambio, su presencia tiene una contribución negativa para los usuarios control, con un impacto negativo en cuatro variables.

Para los sujetos con limitación motora, la presencia de **“Ir a inicio”** facilita la finalización de las tareas, contribuyendo a la eficacia. Además, su presencia disminuye la actividad sobre el músculo corrugador (EMGc) y aumenta la variabilidad de la frecuencia cardíaca (HRV), mejorando la satisfacción y la eficiencia. Eficiencia que se ve también mejorada ya que disminuye el número de fijaciones y el número de fijaciones por segundo, y aumenta el ratio de duración y la amplitud de los sacádicos.

En cambio, su presencia produce un efecto contrario en los usuarios control, tanto en la eficiencia como en la satisfacción. En concreto, disminuye la variabilidad de la frecuencia cardíaca, empeorando la satisfacción y aumentando la carga cognitiva. Además, la reducción de la eficiencia se hace aún más patente, ya que disminuye la amplitud de los sacádicos, y aumenta el número de fijaciones y el tiempo necesario para finalizar la tarea.

Al evitar el uso del scroll y reducir el número de movimientos del ratón, era de esperar que las personas con limitación motora serían el grupo que más se beneficiarían. No obstante, es una funcionalidad que también podría ser de utilidad para los usuarios control, o al menos, no tener un impacto negativo. Este efecto negativo se puede deber a que los usuarios control no utilizan esta ayuda de navegación, ya que están acostumbrados a manejarse rápidamente con el ratón, provocando que cualquier elemento que no utilicen, les moleste o desagrade.

Al igual que en el caso anterior, la presencia de las **“Migas”** (P6) mejora claramente la usabilidad de los usuarios con limitación motora, con un impacto positivo en seis variables, mientras que afecta negativamente a la usabilidad para los sujetos control (tabla 5.35). Para los usuarios con limitación motora,

su presencia facilita la finalización de la tarea, mejorando la eficacia. Además, disminuye la actividad sobre el corrugador (EMGc) y la conductividad de la piel (GSR), mejorando la satisfacción y la eficiencia. La mejora de la eficiencia se ve reforzada, ya que disminuye el número de fijaciones y el tiempo necesario para finalizar la tarea, y aumenta el ratio de duración entre sacádicos y fijaciones.

En cambio, la eficiencia disminuye para los sujetos control ya que aumenta el tiempo empleado y el número de fijaciones necesarias para alcanzar el objetivo.

A priori, debería mejorar la usabilidad de los usuarios con limitación motora, ya que les permite acceder a las secciones anteriores con un solo clic. Además, situar al usuario en la posición en la que se encuentra dentro de la estructura de la web, debería mejorar la usabilidad para ambos perfiles. En cambio, mejora la usabilidad de un grupo mientras empeora la del otro. No obstante, a diferencia de la recomendación “Ir a inicio”, el impacto negativo en los sujetos control solo se ve reflejado en dos variables, duración de la tarea y número de fijaciones, ambas correlacionadas. El efecto negativo en los usuarios control se puede deber a que al no utilizarlo, se convierte en un elemento que distrae la atención y por tanto les molesta.

La presencia del “**Mapa web**” (P3) ofrece resultados similares a las migas (tabla 5.35). Para los usuarios con limitación motora, su presencia aumenta el ratio de duración y disminuye el número de fijaciones, mejorando la eficiencia. En cambio, para los usuarios control, su presencia aumenta el número de fijaciones y el tiempo empleado para realizar la tareas, reduciendo la eficiencia. Además, cabe resaltar que, en ambos casos, contribuye positivamente a la percepción de “Diseño y Estética adecuados” (CP1).

Aunque los resultados no son tan claros como en los casos anteriores, se puede decir que el “Mapa web” tiene un efecto distinto según el perfil de usuario. Era de esperar que los resultados fueran similares a los obtenidos mediante las migas, ya que ambas recomendaciones ayudan a orientarse al usuario y también aportan la posibilidad de acceder a las distintas secciones de la web con un solo clic.

La mejora de la usabilidad para los usuarios con limitación motora, descrita hasta el momento, no queda tan patente para las recomendaciones “Ir arriba” (P2) y “Señalar y hacer clic” (P4).

La sección 6.1 indicaba que la recomendación “**Ir arriba**” tenía un claro impacto negativo en la usabilidad. Este efecto se reafirma para los usuarios control, ya que su presencia reduce la amplitud de los sacádicos, y aumenta el número de fijaciones, número de fijaciones por segundo y el tiempo para realizar

la tarea, afectando negativamente a la eficiencia. Además, su presencia también disminuye la actividad sobre el zigomático (EMGz), reduciendo la satisfacción.

Sin embargo, el efecto en los usuarios con limitación motora es menos claro. Por un lado, su presencia reduce el número de fijaciones, el número de fijaciones por segundo, la actividad sobre el corrugador (EMGc) y el tiempo necesario para finalizar la tarea, mejorando la eficiencia y satisfacción. Por otro lado, su presencia reduce la amplitud de los sacádicos y el ratio de duración, empeorando la eficiencia; y reduce la actividad sobre el zigomático (EMGz), empeorando la satisfacción.

Como se observa los resultados son bastante contradictorios para esta recomendación, ya que empeora y mejora tanto la eficiencia como la satisfacción a partes iguales. No obstante, el recuento realizado en la tabla 5.35 (5 positivos y 3 negativos), nos permitiría decir que parece contribuir en mayor medida a mejorar la usabilidad que a empeorarla. Además, cabe destacar que para ambos perfiles, como se comentaba en la sección 6.1, contribuye positivamente a la percepción de “Diseño y estética adecuados” (CP1).

En cuanto a la recomendación **“Señalar y hacer clic”** (P4), la contradicción o ambivalencia, discutida en la sección 6.1, sigue de manifiesto al separar los resultados por perfil de usuario. Su presencia provoca tres impactos positivos y tres negativos para los usuarios con limitación motora, y un impacto positivo menos para los usuarios control.

Para los usuarios con limitación motora, su presencia aumenta la duración de la tarea, el número de fijaciones y el número de fijaciones por segundo, empeorando la eficiencia. Sin embargo, su presencia también aumenta la amplitud de los sacádicos, el ratio de duración y la actividad del zigomático, mejorando la eficiencia y satisfacción, respectivamente.

A priori, como genera el mismo número de impactos positivos y negativos no se podría afirmar si mejora o empeora la usabilidad. No obstante, en secciones previas se ha puesto de manifiesto que el tiempo empleado para finalizar la tarea no es la variable más importante para los usuarios con limitación motora. Por ello, teniendo en cuenta que los impactos negativos se producen en dos variables muy relacionadas, número de fijaciones y tiempo empleado para finalizar la tarea; y que el resto de variables de la mirada y la respuesta fisiológica tienen un impacto positivo, podemos concluir que esta recomendación mejora la usabilidad para los usuarios con limitación motora.

Para los usuarios control, su presencia también aumenta el número de fijaciones y el tiempo empleado para finalizar la tarea, reduciendo la eficiencia. Además, también aumenta la variabilidad cardíaca (HRV), reduciendo la eficiencia y la satisfacción. Por contra, su presencia aumenta la amplitud de los sacádicos y la actividad sobre el zigomático (EMGz), mejorando la eficiencia

y satisfacción, respectivamente. Al igual que para los usuarios con limitación motora, el número de impactos positivos y negativos es el mismo, por lo que su efecto sobre la usabilidad no queda demostrado.

Sin embargo, el tiempo empleado para finalizar la tarea sí que es clave en los sujetos control y además, se ve afectada negativamente la respuesta fisiológica. Podemos concluir que esta recomendación se encuentra entre un impacto neutro sobre la usabilidad o un ligero impacto negativo para los usuarios control.

Respecto al “Menú” (P7) más adecuado, los resultados varían considerablemente según el perfil de usuario (tabla 5.36). A pesar de ello, éstos están en línea con los resultados generales donde quedaba patente la necesidad de utilizar un menú izquierdo.

En este caso, la principal diferencia se centra en que el **menú izquierdo con dos niveles** (menú 4 y 5) mejora la usabilidad para los **usuarios control**. En cambio, los usuarios con **limitación motora prefieren disponer de ambos menús**, tanto en el lado izquierdo como en la parte superior (menú 3 y 5).

En la tabla 5.36 se puede ver que el resultado para los sujetos control es bastante claro. Por un lado, no existe ningún impacto negativo en el menú 4, que consta de nueve impactos positivos y uno neutro. Por otro lado, el menú 5 tiene sólo dos impactos negativos en la valoración global y en el ratio de duración.

En cambio, en los usuarios con limitación motora, la diferencia de impactos positivos y negativos en los distintos menús es bastante más reducida. Aunque el menú 3 y 5 están prácticamente al mismo nivel, los resultados son mejores cuando se utiliza un único nivel (menú 3) frente a dos (menú 5). La única excepción se encuentra en las variables fisiológicas, efecto que puede deberse a interacciones no controladas entre aspectos de usabilidad y estéticos, como se detalla en la sección 6.5.

A pesar de estas diferencias, en ambos grupos se confirman los resultados de la sección anterior. La ausencia de menú izquierdo (menú 1) o la ausencia de menú superior combinado con un menú izquierdo de un solo nivel (menú 2) son los que más empeoran la usabilidad en ambos grupos.

En líneas generales, se puede decir que **la mayoría de recomendaciones contribuyen a mejorar la usabilidad de los usuarios con limitación motora**. En cambio, las recomendaciones influyen poco en las variables para los **usuarios control**, teniendo, en algunos casos, **impactos negativos** en la usabilidad.

Cabe resaltar que las recomendaciones modifican la mayoría de variables fisiológicas y de seguimiento de la mirada de los usuarios con limitación motora.

En cambio, el principal impacto de las recomendaciones en los usuarios control se refleja en el tiempo necesario para finalizar la tarea.

Estos resultados ponen de manifiesto la necesidad de tener en cuenta las distintas características y habilidades del conjunto de la población a la que va dirigida la web o el servicio TIC. **Coincidiendo con las diferencias encontradas por otros autores** cuando han analizado la adecuación de diversos interfaces en función de las habilidades y capacidades de los usuarios, por ejemplo, en función de la experiencia [188, 254] o la edad [61].

6.3. Comparativa de las distintas variables de usabilidad

El uso de variables extraídas de la respuesta fisiológica y del seguimiento de la mirada ha permitido discriminar mejor el efecto de las recomendaciones de usabilidad en la interacción del usuario con la web. El conjunto propuesto de nuevas variables, nivel 4, ha permitido detectar la influencia de todas las recomendaciones de usabilidad y su interacción con el perfil de usuario. Además, permite profundizar más allá del resultado final de la tarea, es decir, indagar en los procesos que se generan en el interior del usuario, tanto a nivel emocional como cognitivo.

En la sección 5.7 se comparaba la sensibilidad de las variables de los distintos niveles. En la tabla 5.37 quedaba patente que las variables de nivel 4 son más sensibles al efecto de las recomendaciones y al perfil de usuario, que las variables de los niveles 1, 2 y 3.

La formulación de preguntas generales sobre la web o su usabilidad, **Nivel 1**, es muy poco sensible y por lo tanto no son adecuadas para la valoración en detalle de la web. De hecho, tan sólo permiten detectar la influencia del perfil de usuario y del tipo de menú, tal y como se ha mostrado en la tabla 5.8.

Los anteriores resultados mejoran ligeramente cuando se pide al usuario que conteste a un conjunto de preguntas más amplio y específico. No obstante, ha sido necesario realizar un análisis de componentes principales para conseguir que las variables del **Nivel 2** fueran algo más sensibles. De hecho, solo las componentes “Diseño y Estética adecuados” (CP1) y “Simplicidad y lectura fácil” (CP4) son sensibles al efecto de determinadas recomendaciones. En concreto, han permitido detectar el efecto de las recomendaciones “Ir arriba” y “Mapa web”, y la interacción de la limitación motora con “Imagen de Fondo” (tabla 5.13). Además, la componente “Facilidad de encontrar y sin

errores” (CP3) también permite analizar la evolución del usuario a lo largo de las sesiones.

Cabe resaltar que los valores de significación (p) de las variables subjetivas, nivel 1 y 2, son bastante peores que en el caso de las variables objetivas, correspondientes al nivel 3 y 4.

Estos resultados ponen de relieve la limitada capacidad de discriminación del efecto de las recomendaciones mediante técnicas subjetivas y cualitativas. Además, con frecuencia se requiere de muestras de usuarios bastante más amplias para conseguir resultados significativos en comparación con las variables objetivas, incluidas las variables fisiológicas [82, 3].

Aunque la utilización de preguntas más específicas pueda mejorar la sensibilidad de estas técnicas, esto genera un problema a resolver. Es necesario alcanzar un equilibrio entre el nivel de detalle que se quiere conseguir y el número de preguntas para no abrumar al usuario. En esta investigación, una limitación, implícita del propio cuestionario, es que no se podía pasar dicha batería de preguntas (anexo C) después de finalizar cada tarea de menos de dos minutos. De haberse realizado ese modo, el ensayo se hubiera alargado demasiado y se hubiera contribuido al cansancio del usuario. Además, hay que tener en cuenta que las diferencias entre tareas y tipos de web eran bastante sutiles, lo que podía dificultar que el usuario fuera capaz de discernir los matices entre los distintos estilos.

Sin embargo, se podrían haber conseguido mejores resultados si se hubiera utilizado un cuestionario más reducido. Por ejemplo, utilizando las 2 preguntas generales y las 5 preguntas relacionadas con las componentes principales (o las que más influyen en la usabilidad), permitiendo que los usuarios lo completaran con mayor frecuencia.

Recurrir a variables objetivas, aunque sean tradicionales como la medida de tiempos y la finalización de la tarea, correspondientes al **Nivel 3**, permite discriminar mejor el efecto de las recomendaciones de usabilidad. En esta tesis, la finalización de la tarea no ha sido especialmente sensible, ya que sólo permite detectar el efecto de las recomendaciones “Ir a inicio” y “Migas”, y la evolución a lo largo de sesiones y repeticiones (tabla 5.16).

Sin embargo, cabe resaltar que las tareas planteadas en esta Tesis no eran excesivamente complejas. Esta situación, junto a una buena organización de la información en la web, provocaba que la tasa de error en la finalización de la tarea fuera considerablemente baja. La utilidad de esta variable sería más evidente en tareas o interfaces más complejas como paneles de control de transporte público, o servicios TIC más nuevos o desconocidos.

La mejoría de resultados proporcionada por las variables subjetivas se hace evidente en el tiempo empleado para finalizar la tarea. La duración varía con

la presencia de tres recomendaciones y otras cinco en función del perfil de usuario (tabla 5.16). Además, permite extraer información de la evolución del usuario a lo largo de las sesiones y repeticiones. Cabe añadir que el nivel de significación obtenido en el 75 % de los factores es el más alto ($p < 0,001$).

Sin embargo, estudios previos [61] muestran que el tiempo empleado para finalizar una tarea no es la mejor variable para evaluar la eficiencia, especialmente en el caso de personas mayores o personas con discapacidad. Estos estudios coinciden con los obtenidos en esta Tesis, ya que si bien el tiempo empleado para finalizar la tarea es clave para los usuarios control, no es así para los usuarios con limitación motora. Afirmación que se puede constatar tanto en la influencia de las recomendaciones en dichas variable, como por su peso en el modelo de usabilidad para ambos grupos (figuras 5.28a y 5.28b).

Los resultados anteriores ponen de manifiesto la necesidad de utilizar otras variables como el análisis de la respuesta fisiológica [82], el seguimiento de la mirada o el análisis de movimientos [61] para evaluar la usabilidad. Necesidad que se hace más patente cuando las diferencias son sutiles [82] y/o participan usuarios con discapacidad o personas mayores [61].

De hecho, los resultados obtenidos para las variables de **Nivel 4** reafirman dicha necesidad. En concreto, las variables asociadas a la respuesta fisiológica permiten detectar el efecto de todas las recomendaciones y su interacción con el perfil de usuario, a excepción de las recomendaciones “Ir a inicio” y “Mapa web”. Además, permiten obtener el nivel de significación más alto ($p < 0,001$) en prácticamente la totalidad de los casos (tabla 5.21).

Los resultados anteriores todavía son mejores para las variables del seguimiento de la mirada. Este conjunto de variables permite detectar el efecto de la totalidad de las recomendaciones y su interacción con el perfil de usuario (tabla 5.28), con el nivel de significación más alto ($p < 0,001$).

A pesar de los buenos resultados obtenidos con la **metodologías innovadoras** propuestas, hay que tener en cuenta las **limitaciones y dificultades** asociadas a dichas técnicas. En primer lugar, requieren de **equipamiento** que tiene un alto coste, entre 3.000 y 20.000 euros. Además, en el caso del análisis de la respuesta fisiológica, requiere de una instrumentación precisa y que puede ser molesta para el usuario, especialmente la electromiografía facial.

Sin embargo, ambas limitaciones pueden solucionarse a corto-medio plazo. Por un lado, mediante el uso de equipamiento de bajo coste como cámaras web para el seguimiento de la mirada, aunque sea a cambio de perder precisión. Por otro lado, mediante el uso de dispositivos de bajo coste tipo pulsera que registren la variabilidad del ritmo cardíaco y/o la conductividad de la piel.

En segundo lugar, en ambos casos hay que tener especial cuidado en el **tratamiento e interpretación de los datos**. Diversos autores no han con-

seguido resultados debido a la alta variabilidad de las señales fisiológicas o a la presencia de estímulos externos, debido, entre otros, a la falta de control en las condiciones de los ensayos [180].

Por ello, resulta clave realizar un ensayo controlado, minimizar la presencia de estímulos externos y aplicar una normalización para reducir la variabilidad intra- e inter-sujeto, como se ha hecho en esta Tesis. No obstante, como se detallará en la sección 6.6, la normalización utilizada podría haber sido mejor, lo que hubiera contribuido positivamente a los resultados obtenidos.

Si bien la normalización no es crítica en el caso del análisis del seguimiento de la mirada, si lo es una correcta calibración y control del entorno y de los usuarios. Los reflejos en la pantalla o usuarios con gafas bifocales, entre otros, pueden afectar la calidad y validez de las medidas [211, 214, 215].

Además, tal y como se ha introducido en el estado del arte, diversas variables, como el ratio de duración [221], tienen una interpretación dual, es decir su interpretación depende de donde reside la complejidad del interfaz y del tipo de tarea. En estos casos resulta clave comprender el producto o servicio que se está analizando para poder interpretar los resultados.

A las anteriores limitaciones cabe añadir una limitación común ambas metodologías, su menor utilidad para evaluar el proceso de adaptación y aprendizaje. En el caso de las variables de la mirada se puede deber a la escasa variación a lo largo de sesiones y repeticiones, a excepción del número de fijaciones, la cual está altamente correlacionada con la duración de la tarea. En cambio, en el caso de las variables fisiológicas se puede deber a problemas de normalización entre sesiones y/o el efecto del nivel de intensidad emocional óptimo para realizar una tarea, tal y como se analiza en la sección 6.4.

Por último, si se analizan las distintas variables de forma individual más allá del nivel al que pertenezca, se puede extraer un **conjunto de variables que permitan valorar la usabilidad** de forma fiable cubriendo sus principales componentes:

- **Eficacia:** Parece claro que es necesario utilizar la variable finalización de la tarea, ya que es la única que permite medir dicho efecto.
- **Eficiencia:** Las variables ratio de duración y la longitud de los sacádicos permiten detectar el efecto de todas las recomendaciones, además de complementarse en cuanto a su significado. No obstante, sería adecuado combinarlas con la actividad sobre el corrugador (EMGc) y la conductividad de la piel (GSR) o la variabilidad cardíaca (HRV) para medir el nivel de carga cognitiva o estrés. También sería de utilidad la medida del tiempo empleado para finalizar la tarea, aunque como se ha explicado,

no es la variable más adecuada para medir eficiencia en usuarios con limitación motora o personas mayores.

- **Satisfacción:** En este caso parece claro que la medida de valencia e intensidad emocional, a través de la EMG facial y la HRV/GSR, aporta mejores resultados que la evaluación de la satisfacción a través de cuestionarios.
- **Aprendizaje:** Teniendo en cuenta los problemas que han aparecido en parte de las nuevas variables propuestas (sección 6.4), las variable idóneas serían la medida de tiempos o el número de fijaciones, ambas altamente correlacionadas. No obstante, las variables fisiológicas también pueden contribuir al respecto si se mejora el control sobre dichas variables. De hecho, el HRV, tal y como se comenta en la siguiente sección, puede ayudar al respecto. Además, otras aproximaciones como el análisis de movimientos de la mano [61] o el ratón pueden aportar información de gran valor al respecto.

A modo de resumen, **resulta necesario combinar las distintas técnicas**, incluso metodologías más cualitativas o subjetivas como cuestionarios, “thinking aloud” o técnicas de observación. De este modo, se puede conseguir una adecuada valoración de la usabilidad y detectar los distintos problemas durante la interacción del usuario con la web.

6.4. Proceso de adaptación y aprendizaje

Esta sección se centra en debatir las diferencias entre los procesos de adaptación y aprendizaje. Para ello, se analiza la evolución de las distintas variables a lo largo de las sesiones y repeticiones, así como las diferencias existentes en función del perfil de usuario.

El proceso de aprendizaje se puede dividir en dos partes: **adaptación**, relacionada con lo que el usuario recuerda a **corto plazo**; y el propio **aprendizaje**, relacionado con lo que el usuario recuerda a **largo plazo** [61]. En nuestro caso, se corresponde con la mejoría a lo largo de las repeticiones, realizadas durante el mismo día (adaptación); y las sesiones, realizadas en días distintos (aprendizaje).

Durante la sección 5.4, se han analizado ambos conceptos de forma independiente. Por un lado, variables como la finalización de la tarea o el tiempo empleado para finalizarla tienen el comportamiento esperado, es decir, mejoran a lo largo de las repeticiones y sesiones, aumentando el porcentaje de éxito de finalización y reduciendo el tiempo necesario para finalizar la tarea.

Por otro lado, se han encontrado algunos comportamientos no esperados, especialmente para las señales fisiológicas. Por ejemplo, es de esperar que la conductividad de la piel, relacionada con el nivel de estrés, se reduzca progresivamente a lo largo de las repeticiones y sesiones; o que la actividad sobre el zigomático mayor, relacionada con emociones positivas, aumente a lo largo de las repeticiones y sesiones. En cambio, se han observado que se aumentaba en una sesión para reducirse en la siguiente o viceversa.

Sin embargo, el análisis de forma independiente de sesiones y repeticiones puede enmascarar una información de mayor detalle que se obtiene cuando se analizan ambos conceptos de forma conjunta. De hecho, Belda-Lois et al. [61] observaron **el nivel conseguido en la última repetición de una sesión está por encima del que se consigue en la primera repetición de la siguiente sesión**, ya que no todo lo que se aprende a corto plazo se retiene a largo plazo, existiendo un efecto de “desaprendizaje” entre sesiones.

En la sección 5.8 se puede ver dicho efecto de “desaprendizaje” en diversas variables como la finalización de la tarea y el tiempo empleado (figura 5.17), el número de fijaciones (figura 5.19), y la variabilidad del ritmo cardíaco (figura 5.18), coincidiendo con los resultados obtenidos por Belda-Lois et al. [61].

Cabe destacar los resultados de la variabilidad cardíaca (HRV), a pesar de que su comportamiento fuera extraño, con subidas y bajadas al analizar las sesiones y repeticiones por separado (figuras 5.11b y 5.11b), el análisis en conjunto de ambos procesos pone de manifiesto la capacidad del HRV para valorar tanto la adaptación como el aprendizaje. En este caso, si que se observa que la variabilidad cardíaca (HRV) tiene un comportamiento similar al descrito por Belda-Lois et al. [61]. A excepción de la tercera repetición de la segunda sesión, se observa una mejoría a lo largo de las repeticiones de cada sesión. Además, al inicio de cada sesión se parte de un valor inferior al alcanzado en la anterior sesión, pero que se mejora a lo largo de las repeticiones (figura 5.18).

Sin embargo, la **evolución de las nuevas métricas propuestas no se ajusta ni a la evolución de sesiones y repeticiones por separado, ni al efecto de “desaprendizaje”** explicado por Belda-Lois et al. [61]; a excepción del HRV y el número de fijaciones, como se ha comentado previamente.

Si la atención se centra en las **variables fisiológicas**, se observa que el nivel de GSR, relacionado con niveles de estrés o carga cognitiva, tiene valores elevados durante la primera sesión y que se reducen considerablemente en las sucesivas sesiones (figura 5.18). De forma análoga, la EMGz, relacionada con valencias positivas o satisfacción, mejora considerablemente a lo largo de la primera sesión, pero permanece prácticamente constante en las siguientes sesiones (figura 5.18).

Estos efectos se pueden deber a que los usuarios sienten cierta presión la primera vez que se enfrentan a las tareas, generando niveles altos de GSR en la primera sesión; y al mismo tiempo, produciendo satisfacción al ir mejorando en la realización de las tareas, lo que genera un incremento de la EMGz. Sin embargo, estas sensaciones desaparecen en sucesivas sesiones, debido a que las tareas no son excesivamente complejas y dejan de ser un reto con bastante facilidad. Estos resultados coinciden con la aproximación de la curva de Yerkes-Dodson [124], donde se define un nivel de intensidad óptimo para realizar una tarea sin ser estresante pero sin aburrir.

De hecho, esta facilidad de las tareas se puede ver reflejada en la EMGc, relacionada con valencias negativas, ya que parece que no varía considerablemente a lo largo de las repeticiones y sesiones (figura 5.18).

No obstante, la falta de utilidad de las señales fisiológicas para evaluar el aprendizaje se podría deber a un **problema en la normalización de los datos**. A priori, la normalización ideal es utilizar un estado basal previo al inicio de cada tarea [82]. En cambio, en esta Tesis finalmente se utilizó un mismo basal, calculado al inicio de cada sesión, para todas las tareas.

A pesar de haber realizado un estudio piloto, no se pudo detectar que con el paso de las sesiones, los usuarios se tomaban muy poco tiempo entre tarea y tarea, debido a que solo se hizo una sesión por usuario. Esto provocó que no se dispusiera de un tiempo basal suficiente entre tarea y tarea, impidiendo su normalización respecto al instante anterior. Esta limitación puede haber afectado a la capacidad de reducir la variabilidad intra-sujeto, impidiendo caracterizar la evolución a lo largo de las sesiones y repeticiones.

El análisis conjunto de las repeticiones y sesiones ha permitido explicar parte de los comportamientos anómalos encontrados en la EMG facial y la GSR (figuras 5.11b y 5.12b). Sin embargo, su poca variación a lo largo de las repeticiones y sesiones, a excepción de su evolución durante primera sesión, se puede deber a problemas de normalización como se ha comentado. De todos modos, sería necesario ver el comportamiento de este grupo de variables cuando el interfaz o las tareas para realizar por los usuarios fueran más complejas, y el nivel de carga emocional y/o cognitiva no decayera tan rápidamente.

En cuanto a las variables asociadas al **seguimiento de la mirada**, a excepción del número de fijaciones, no parece existir un patrón claro para el resto de variables (figura 5.19). Por ejemplo, el ratio de duración solo sufre ligeras variaciones a lo largo de las sesiones y repeticiones. En cambio, la amplitud de los sacádicos se reduce considerablemente durante la primera sesión, para volver a los niveles iniciales en el resto de sesiones. En cuanto al número de fijaciones por segundo, éste tiene un comportamiento difícil de explicar en la

tercera sesión, con considerables incrementos y decrementos a lo largo de las repeticiones.

Teniendo en cuenta estos resultados, y sin saber que se hubiera obtenido al mejorar la normalización de las variables fisiológicas, las **mejores variables** para seguir el proceso de adaptación y aprendizaje son la **finalización de la tarea y el tiempo empleado, el número de fijaciones y la variabilidad del ritmo cardíaco**.

Al igual que a lo largo de toda la Tesis, existen diferencias notables en función del **perfil de usuario**. En líneas generales, se observa que el punto de partida de los usuarios de control es mejor que el de los usuarios con limitación motora para la mayoría de variables (figuras 5.17, 5.18 y 5.19), por lo que la necesidad de aprendizaje es mayor para este grupo. A pesar de esta mayor necesidad de aprendizaje, son los usuarios control los que más asocian en mayor medida una valoración negativa de la usabilidad con una necesidad de aprendizaje (tabla 5.38).

La única excepción se encuentra para el ratio de duración, que en principio parece ser mejor para los usuarios con limitación motora. Sin embargo, esto puede deberse a **dos estrategias de exploración distintas**. Los usuarios con limitación motora se toman más tiempo y planifican mejor cual es el siguiente paso, debido a sus dificultades con el ratón. Esta mayor planificación provoca un aumento del tiempo de fijación, y por lo tanto, del ratio de duración. En cambio, los usuarios control utilizan una estrategia de prueba y error, reduciendo considerablemente el tiempo de fijación. Además, estas diferencias se mantienen a lo largo de las sesiones (figura 5.19).

La diferencia entre ambos patrones coincide con los encontrados en otras investigaciones que analizaban las diferencias entre personas jóvenes, acostumbradas a la técnica prueba y error; y personas mayores o personas con discapacidad, que tenían más problemas para realizar cada acción y se toman más tiempo para su planificación [61].

Estas diferencias de perfil se hacen más evidentes en las variables de la **respuesta fisiológica**. Los **valores son considerablemente mayores**, a excepción del HRV, para los **usuarios con limitación motora** (figura 5.18).

No obstante, aunque en la primera sesión las diferencias son considerables en variables como la GSR o el nivel de EMGz alcanzado, estas diferencias se reducen considerablemente en las siguientes sesiones, llegando prácticamente a igualarse. Aún así, se observa que los usuarios con limitación motora siguen incrementando el nivel de satisfacción (EMGz) en la segunda sesión.

Sin embargo, las diferencias de ambos perfiles en la EMGc, relacionada con valencias negativas o situaciones de frustración, se mantienen bastante constantes a lo largo de sesiones y repeticiones. Este resultado parece indicar que

dichas diferencias están asociadas a los problemas de interacción intrínsecos del uso del ratón de los usuarios con limitación motora.

Además, cabe resaltar que la mayoría de las variables fisiológicas están correlacionadas con la “Necesidad de aprender” (CP5). Esta relación vuelve a incidir en el potencial de estas variables para analizar el aprendizaje, siempre que el nivel de demanda o interés no decaiga a lo largo de repeticiones y sesiones.

De forma análoga a la señales fisiológicas o de la mirada, las diferencias también aparecen en el tiempo empleado para finalizar la tarea (figura 5.17). Aunque ambos perfiles reducen el tiempo necesario para finalizar las tareas, las diferencias entre ambos perfiles se mantienen. Al igual que en casos anteriores, esto puede deberse a la estrategia de los usuarios con limitación motora de tomarse más tiempo para decidir la siguiente acción. No obstante, también puede deberse a las limitaciones intrínsecas de dichos usuarios, ya que aunque aprendan a manejar mejor la web, van a seguir necesitando más tiempo para mover el ratón de una posición a otra.

En líneas generales, podemos decir que aunque los usuarios control parten de mejores valores en la mayoría de las variables, los usuarios con **limitación motora pueden mejorar ostensiblemente a lo largo del proceso de aprendizaje**. De hecho, en las repuestas de los cuestionarios estos usuarios manifestaban en mayor medida la necesidad de aprender (CP5) (tabla 5.12). Es posible que en algunas variables no consigan llegar a los mismos resultados, debido tanto a las diferencias en el proceso de toma de decisiones, como a sus limitaciones en la interacción con el ratón. Sin embargo, no es descartable que con más entrenamiento se pudieran reducir dichas diferencias [61].

6.5. Valoración general, valoración usabilidad e interacciones

De los resultados obtenidos en esta Tesis se desprende información más allá de la propia usabilidad. Por ello, esta última sección se centra en analizar las interacciones entre la usabilidad y otros conceptos como la estética a través de resultados puntuales, incluyendo los resultados contradictorios o más difíciles de explicar y que no se han abordado en las anteriores secciones de la discusión.

Para conseguir la aceptación de un producto o servicio es necesario cubrir las necesidades de los usuarios desde todos los niveles: funcionalidad, accesibilidad, usabilidad y estética (figura 6.1). En primer lugar, es preciso asegurar que el producto o servicio realice la tarea para la que ha sido pensado: funcio-

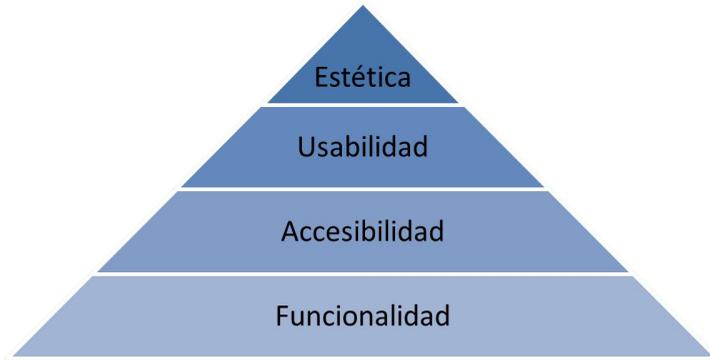


Figura 6.1: Adaptación de la pirámide de Jordan [255].

alidad. En segundo lugar, los usuarios deben poder acceder a dicho servicio con independencia de sus capacidades y habilidades: accesibilidad. Además, debe ser fácil de usar, intuitivo y cómodo: usabilidad. Por último, la experiencia debe ser placentera para el usuario, cubriendo aspectos emocionales o hedónicos: estética.

Aunque a priori puedan parecer conceptos totalmente independientes, los resultados obtenidos en esta Tesis indican que las barreras entre los distintos conceptos pueden ser bastantes difusas. De hecho, dentro de la propia definición de usabilidad de la ISO [58], se encuentra el concepto eficacia, que estaría estrechamente ligado a la funcionalidad; o la satisfacción que podría estar ligado a la estética.

Incluso la barrera entre accesibilidad y usabilidad puede mezclarse en algunos casos, con recomendaciones de accesibilidad que mejoran la usabilidad y viceversa; como se refleja en la presencia de algunas recomendaciones tanto en estándares de accesibilidad como de usabilidad [47, 46, 57, 42].

Los resultados de la sección 5.1.3 muestran que no existe una alta correlación entre la presencia de dichas recomendaciones y los niveles de accesibilidad de las distintas páginas web (tabla 5.5), en línea con los resultados obtenidos por otros autores [256, 257]. Por lo tanto, **asegurar la accesibilidad no garantiza la usabilidad** [258], si bien algunos autores consideran que la accesibilidad es un subconjunto de la usabilidad [258].

Sin embargo, la falta de accesibilidad sí que puede afectar considerablemente a su usabilidad, ya que puede impedir el acceso a determinados grupos de población [258, 259]. Aunque la web desarrollada en esta tesis cumplía los requisitos básicos de accesibilidad, forzar a los usuarios con limitación motora

a utilizar un ratón convencional, a pesar de que algún usuario utilizara en su día a día dispositivos alternativos (ratones adaptados, sistemas de barridos, navegación por teclado, etc.), puede haber provocado que la experiencia sea menos eficiente y satisfactoria que los usuarios control, tal y como y refleja la sección 6.2.

Por ello, es necesario tanto asegurar la accesibilidad como la usabilidad, pero teniendo en cuenta que alguna de las recomendaciones que se implementen pueden tener un efecto negativo en un grupo de usuarios en particular.

Aunque durante los últimos años se ha defendido el concepto de “Diseño Universal” [260] o diseño para todos, hay que tener en cuenta que, si bien es un objetivo que se debe tener en mente y tratar de maximizar la adecuación para todos los usuarios, es muy difícil alcanzarlo. De hecho, los resultados obtenidos en esta Tesis demuestran que el efecto de las recomendaciones varía según el perfil de usuario e incluso algunas recomendaciones que mejoran la usabilidad para un perfil de usuario pueden dificultar el uso para otro grupo de usuarios. Por tanto, una alternativa más realista o práctica puede ser diseñar o desarrollar productos bajo el concepto de Diseño Universal, permitiendo una personalización/adaptación en función de las capacidades y habilidades de los usuarios, aproximación que es bastante viable cuando se trata de servicios TIC como las páginas web o cualquier otra aplicación.

En la propia definición de la usabilidad [58] se encuentra el concepto de **satisfacción**, es decir, que la interacción del usuario con el producto sea placentera. Pero, ¿hasta qué punto está ligado dicha satisfacción con los aspectos estéticos o emocionales? Es verdad que en multitud de ocasiones se diseñan cosas bonitas pero que afectan negativamente a la usabilidad [261]. Sin embargo, también es verdad que diversos autores defienden que lo bonito, nos gusta, lo queremos y por tanto, lo usamos [262].

Diversas investigaciones han encontrado que mejorar la **apariencia estética** tiene un impacto positivo en la percepción de usabilidad de los usuarios [263]. Dichas afirmaciones coinciden con los resultados obtenidas, donde se ha comprobado que la componente “Estética y diseño adecuado” (CP1) tiene un importante peso no solo en la valoración general de la web, sino en la valoración de la usabilidad (tabla 5.38).

Hay que garantizar la accesibilidad y usabilidad de la páginas web, pero eso no implica que la estética se deba dejar de lado, lo accesible y usable no tiene porque ser “feo”. Los resultados de la presente Tesis apoyan esta idea, ya que se ha encontrado una alta correlación entre la valoración de la usabilidad y la componente “Estética y diseño adecuado” (CP1) para los usuarios con limitación motora.

Además, si el usuario se siente atraído por el producto, lo utilizará con más frecuencia y mayor voluntad, facilitando su aprendizaje y mejorando su uso con el tiempo. No obstante, hay que tener en cuenta que el producto debe ser atractivo y/o emocional desde la percepción del usuario y no del diseñador o desarrollador. La percepción del usuario es clave, y como se ha visto en esta Tesis, varía considerablemente en función del perfil de usuario (sección 6.2).

Esta interacción entre ambos conceptos se ha reflejado en algunos resultados de esta Tesis. Por ejemplo, la recomendación “Señalar y hacer clic” no mejora la usabilidad pero incrementa la actividad sobre el zigomático mayor (tabla 5.35), relacionado con valencias positivas o satisfacción; por lo que se podría pensar que tiene una contribución positiva al diseño de la web. De forma análoga, el mapa web no mejora la usabilidad para los sujetos control aunque sí que mejora la componente “Estética y diseño adecuado” (tabla 5.35).

Dichas interacciones son más evidentes en el caso de los menús. Si bien queda claro cual es la tipología de menú más usable en función de cada perfil, existen ciertas contradicciones, especialmente en el caso de las variables fisiológicas como la conductividad de la piel y la variabilidad del ritmo cardíaco (tabla 5.36). Estas diferencias se pueden deber a una discrepancia entre preferencias, es decir aspectos estéticos, y carga cognitiva, es decir usabilidad.

Estos resultados resaltan la necesidad de plantear estudios que permitan analizar en primer lugar la apariencia, estética de la web, para posteriormente analizar la usabilidad. De este modo, se podría obtener información de mayor detalle de como mejorar la usabilidad sin empeorar la estética.

Por último, los resultados obtenidos muestran que la **valoración general** de la web, que se podría entender como una valoración en conjunto de todos los niveles de Jordan, está correlacionada con la usabilidad, con mayor peso para los usuarios con limitación motora (sección 5.9). Además, ambas valoraciones están correlacionadas con la valoración de la percepción estética, tal y como se ha mostrado en las figuras 5.27 y 5.28.

Dichos resultados demuestran que conseguir la aceptación de un producto, una buena valoración general en nuestro caso, depende en gran medida de cubrir todos los niveles de necesidades, desde la funcionalidad a la estética, sin por ello, reducir la accesibilidad y usabilidad del producto.

Cabe resaltar que el modelo de usabilidad de 4 niveles planteado en esta Tesis, que se basa en la agrupación de variables descrita en la figura 4.9), cubre el conjunto de necesidades de la pirámide de Jordan (figura 6.1). En primer lugar, la variable finalización de la tarea (nivel 3) permitiría evaluar la funcionalidad e incluso la accesibilidad. En segundo lugar, el tiempo (nivel 3) y las variables de la mirada (nivel 4) permitirían evaluar tanto la accesibilidad como la usabilidad. En tercer lugar, las variables fisiológicas (nivel 4)

contribuirían a evaluar los conceptos anteriores, pero también aportarían información sobre la satisfacción. Por último, la valoración directa del usuario (nivel 1 y 2) complementarían la información anterior, y permitiría extraer las inquietudes y percepciones de los usuarios para asegurar el ajuste del diseño a sus necesidades.

6.6. Limitaciones del estudio y mejoras

A partir de los resultados obtenidos, y después de la discusión y análisis de éstos, se han identificado posibles mejoras para futuras experimentaciones:

1. En este estudio se ha podido evaluar el efecto de siete recomendaciones de usabilidad en la interacción con la web de usuarios sin ninguna limitación funcional y de usuarios con limitaciones motoras en los miembros superiores. En futuros estudios, sería de utilidad ampliar la evaluación a otros perfiles de usuarios, cubriendo diversas capacidades funcionales y habilidades de los usuarios.
2. Se ha detectado el efecto combinado de aspectos estéticos y de usabilidad, pudiendo afectar a la interpretación de algunos resultados. Para futuros estudios, sería conveniente realizar una experimentación inicial para evaluar la estética e intentar desacoplar su efecto.
3. La frecuencia de muestreo utilizada para el seguimiento de la mirada ha permitido analizar la trayectoria visual y la relación entre sacádicos y fijaciones. Para futuras experimentaciones la utilización de una una frecuencia de muestreo por encima de 120 Hz permitiría analizar en detalle la trayectoria de los sacádicos, complementando la información obtenida en esta Tesis.
4. Las señales fisiológicas se han normalizado respecto a un estado basal al inicio del ensayo para reducir de la variabilidad intra- e inter- sujeto. En futuras experimentaciones, sería conveniente normalizar respecto a un estado basal previo a cada tarea para mejorar la reducción de la variabilidad intra-sujeto.
5. Las páginas web evaluadas han sido especialmente desarrolladas para esta trabajo de investigación. En futuros estudios, sería de utilidad trasladar la metodología y métricas descritas en esta Tesis para la evaluación de páginas web comerciales. El problema de utilizar web comerciales es que la presencia de diferentes recomendaciones no estará equilibrada

Capítulo 7

Conclusiones

A continuación, se listan las conclusiones que cubren los objetivos e hipótesis planteadas en el capítulo (3), las publicaciones científico-técnicas y las líneas de trabajo futuro como continuación al presente trabajo de investigación.

7.1. Conclusiones

Las conclusiones del trabajo son las siguientes:

1. Se ha definido un **modelo causa-efecto** que permite relacionar la usabilidad con las recomendaciones, el aprendizaje y el perfil de usuario. Este modelo parte de los procesos internos que se generan en el usuario, mediante las variables asociadas a la respuesta fisiológica y el seguimiento de la mirada (Nivel 4). Estos procesos afectan al resultado de la tarea, que se mide utilizando tiempo empleado y éxito en la finalización (Nivel 3). Resultados que se reflejan en la percepción del usuario sobre aspectos específicos de la web (Nivel 2) y que permiten, en conjunto, obtener la valoración general del usuario sobre la web y su usabilidad (Nivel 1).
2. Se ha puesto a punto un **método experimental**, un protocolo y un conjunto de variables que permite **evaluar con usuarios la usabilidad** de forma objetiva y cuantitativa, cubriendo sus aspectos clave: efectividad, eficiencia, satisfacción y aprendizaje. Además, se han implementado en una aplicación informática que permite el análisis de forma automática (ver figuras G.1 y G.2 del anexo G), sin la necesidad de personal experimentado en el uso de estas metodologías.

3. Se ha desarrollado un **método** para determinar la capacidad de **discriminación** del efecto de las recomendaciones y el perfil de usuario por parte de las **variables de usabilidad**, basado en el número de efectos que permiten detectar y en su nivel de significación.
4. Se han obtenido las **relaciones entre los niveles del modelo** para valorar la usabilidad y la valoración general de la web, obteniendo modelos distintos en función del perfil de usuario, en consistencia con la Hipótesis 3. Las variables fisiológicas y de seguimiento de la mirada tienen mayor peso en los usuarios con limitación motora, mientras que las variables relacionadas con el tiempo son las más determinantes en los usuarios sin limitaciones funcionales.
5. Se han analizado y caracterizado los **procesos de adaptación y aprendizaje** de los usuarios, detectando una mejora a lo largo de las repeticiones y sesiones, así como un proceso de caída del rendimiento entre la última repetición de una sesión y la primera repetición de la sesión siguiente. Además, el proceso de aprendizaje es distinto en función del perfil de usuario, en consistencia con la Hipótesis 3. El proceso de aprendizaje es más difícil de caracterizar mediante las variables fisiológicas y del seguimiento de la mirada, a excepción de la variabilidad del ritmo cardíaco y el número de fijaciones.
6. Las variables objetivas (Niveles 3 y 4) son más sensibles al efecto de las recomendaciones que las variables subjetivas (Niveles 1 y 2). Resultado que pone de relieve la necesidad de utilizar variables objetivas para complementar la opinión del usuario. En concreto, las **variables fisiológicas y del seguimiento de la mirada** (Nivel 4) son las que **permiten una mayor discriminación** del efecto de las recomendaciones de usabilidad y el perfil de usuario (Hipótesis 3).
7. Se ha podido **evaluar la evidencia de las recomendaciones de expertos**, permitiendo afirmar cuales tienen realmente un impacto positivo en la usabilidad. Sin embargo, **diversas recomendaciones** no tienen ningún efecto, o su efecto no está claro, o incluso **tienen un impacto negativo en la usabilidad** (Hipótesis 1).
8. Garantizar el cumplimiento de los requisitos de **accesibilidad no asegura que la web sea usable**. De hecho no existe un relación entre el nivel de accesibilidad y la presencia de las recomendaciones de usabilidad. En esta Tesis, se ha demostrado que algunas recomendaciones

pueden empeorar la usabilidad de la web para los usuarios sin limitaciones funcionales.

9. La afirmación anterior resalta la necesidad de **adecuar las recomendaciones** de usabilidad **en función** de las características, capacidades y habilidades **de los usuarios**. El Diseño Universal es un concepto atractivo, siendo importante intentar maximizar la accesibilidad y usabilidad de los productos y servicios para el mayor número de personas. No obstante, resulta necesario adaptar, cuando sea posible como es en el caso de las web o la mayoría de interfaces, el diseño a las características de los distintos grupos de usuarios, utilizando las posibilidades de personalización que permiten las últimas herramientas de gestión de contenidos.

Por último, y para terminar, las conclusiones alcanzadas refuerzan la necesidad de **complementar las evaluaciones heurísticas**, o de experto, **con pruebas con usuarios** para valorar la validez de las recomendaciones de usabilidad, teniendo en cuenta los distintos perfiles de usuario. Además, es necesario cubrir todos los niveles del modelo causa-efecto para conseguir una valoración completa y en detalle de la usabilidad; lo que implica **combinar metodologías complementarias**, subjetivas y objetivas, incluyendo el análisis de la respuesta fisiológica y el seguimiento de la mirada,

7.2. Publicaciones

Las publicaciones se agrupan en tres categorías según su origen:

1. Puesta a punto de la metodología de la presente Tesis:
 - Laparra-Hernández J, Belda-Lois JM, Medina E, Campos N, Poveda R, 2009. EMG and GSR signals for evaluating user's perception of different types of ceramic flooring, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 39, 2, 326-332.
 - Díaz J, Such MJ, Sánchez JJ, Mateo B, Laparra J, 2012. Is the user perception similar with physical and digital representation. *The Fifth International Conference on Advances in Computer-Human Interactions, ACHI, 2012*. International Academy, Research and Industrial Association
2. Resultados directos de la presente Tesis:

- Laparra-Hernández J, Díaz-Pineda J, Belda-Lois J, Barberà R, Poveda R, Prat-Pastor J, Sánchez-Lacuesta J, Matey F, 2012. Evaluation of the influence of user profile on the suitability of current web usability parameters using innovative methodologies.. Book of Abstracts 3rd International Conference on Eye Tracking, Visual Cognition and Emotion. Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias. ETVCE. Lisbon, Portugal, 2012
 - Laparra-Hernández J, Díaz-Pineda J, Belda-Lois J, Page, A, 2013. A multimodal web usability assessment based on traditional metrics, physiological response and eye-tracking analysis. CHAPTER 6 of Book “I see me, you see me: inferring cognitive and emotional processes from gazing behavior” Edited by Pedro Gamito & Pedro Rosa. Publisher: Cambridge Scholars Publishing.
 - Laparra-Hernández J, Belda-Lois JM, Page Á, Remesal AF, 2014. Influence of Emotions on Web Usability for Users with Motor Disorders. In Computers Helping People with Special Needs (pp. 256-259). Springer International Publishing.
3. Resultados obtenidos en otros proyectos mediante la metodología puesta a punto en la presente Tesis:
- Belda-Lois J , Laparra-Hernández J, Castillo A , Bermejo I, Sancho J, 2010. Analysis of the sensibility to FES of people with pathological tremor. Congress of International Society of Electrophysiological Kinesiology, ISEK, Aalborg, 2010.
 - Köhler M, Belda-Lois JM, Diaz Pineda J. Durá Juan V., Laparra-Hernández J., 2014. Messung von Emotionen und Produkt-Usability. In “Perceived Quality.: Subjektive Kundenwahrnehmungen in der Produktentwicklung nutzen” (pp. 77-98). Edited by Robert Schmitt. Symposion Publishing GmbH.
 - Díaz-Pineda J, Belda-Lois J, Laparra-Hernández J, Artacho C, Palau C, 2014. Control fisiológico en sistemas de comunicación aumentativos y alternativos para persona con parálisis cerebral discinética. XXIX Simposium Nacional de la Unión Científica Internacional de Radio. URSI 2014.

Además, en la actualidad se está trabajando en diversos artículos derivados de aplicar la metodología de esta Tesis en el marco de diversos proyectos europeos [10, 9].

7.3. Trabajo futuro

En la actualidad, se está trabajando principalmente en **3 líneas**:

1. Aplicar la metodología desarrollada en productos y servicios comerciales, desde páginas web, aplicaciones para PC y smartphones [9]; hasta plataformas lúdicas como la kinect o la wii para el entrenamiento de capacidades [5].
2. Ampliar el estudio a otros grupos de población, principalmente a personas con discapacidad cognitiva y personas mayores [5, 10, 9].
3. Aplicar la metodología a interfaces más complejas, donde es de esperar que se puedan analizar las curvas de adaptación y aprendizaje con el resto de las nuevas variables propuestas.
4. Combinar con otras metodologías como el análisis de movimientos de la mano [61] o del ratón, y el modelado de estados de Markov [76]. Además, se pretende analizar la coordinación mano-ojo y la relación entre la respuesta fisiológica y la zona donde está mirando el usuario. Sin embargo, esto último es difícil de conseguir debido al efecto acumulativo de la respuesta fisiológica frente a distintos estímulos [264].

Además, a más largo plazo se está estudiando como mejorar la experiencia de usuario mediante la **adaptación interfaces** en función del estado emocional y comportamiento del usuario [10].

Bibliografía

- [1] Web Accessibility Initiative: WAI. URL <http://www.w3.org/WAI/>.
- [2] Stefan Leuthold, Javier A. Bargas-Avila, y Klaus Opwis. Beyond web content accessibility guidelines: Design of enhanced text user interfaces for blind internet users. *International Journal of Human-Computer Studies*, 66(4):257–270, 2008.
- [3] Jose Laparra-Hernández. Valoración de pavimentos cerámicos mediante el uso de la respuesta fisiológica. Master's thesis, Universidad Politénica de Valencia, 2006.
- [4] MEUA (2008 - 2010). MEjora de la Usabilidad de Aplicaciones informáticas y páginas web. Plan Avanza. Ciudadanía Digital. Programa de ayuda a la inclusión de las personas con discapacidad y las personas mayores.
- [5] SENIORPLAY (2012). Desarrollo de requerimientos y sistemas de sensorización que faciliten la generación de videojuegos dirigidos a mejorar la calidad de vida de las personas mayores. Instituto de la Mediana y Pequeña empresa Valenciana. IMPIVA.
- [6] ComunicaFP (2011-2012). Aplicación de metodologías orientadas por las personas para comunicar la actividad innovadora de la Formación Profesional en su entorno empresarial. Ministerio de Educación. Innovación FP.
- [7] CONEMO (2010-2012). Consumer Evaluation Measurement for Objectified Industrial Use. CORNET ERA-NET.
- [8] TREMOR (2008-2011). An ambulatory BCI-driven tremor suppression system based on functional electrical stimulation. VII Programa Marco. ICT. Proyecto Colaborativo.
- [9] Bank4Elder (2011-2014). Innovating ways to access online banking. Ambient Assisting Living (AAL) Joint Programme. Call AAL-2009-3.

- [10] ABC (2011-2014). Augmented BNCI Communication. VII Programa Marco. Proyecto Colaborativo. FP7-ICT-2011-7-287774.
- [11] Rakel Poveda, Ricard Barberá-Guillem, Jose Manuel Cort, Javier Sánchez-Lacuesta, y Jaime Prat. *DATUS. ¿Cómo obtener productos con alta usabilidad? Guía práctica para fabricantes de productos de la vida diaria y ayudas técnicas*. Instituto de Biomecánica de Valencia, 2003.
- [12] World Health Organization. International classification of impairments, disabilities, and handicaps: a manual of classification relating to the consequences of disease, published in accordance with resolution WHA29. 35 of the Twenty-ninth World Health Assembly, may 1976, 1980.
- [13] Iso guide 71:2001. Guidelines for standards developers to address the needs of older persons and persons with disabilities, 2001.
- [14] Fundación Vodafone España. *TIC Y MAYORES conectados al futuro*. Madrid, 2012.
- [15] R Poveda, R Barberá, J Prat, y Vera P. *Los hábitos de compra y consumo de las personas mayores*. Instituto de Biomecánica de Valencia, 2009.
- [16] Terry Ward y Stefanos Grammenos. Men and women with disabilities in the EU: Statistical analysis of the LFS ad hoc module and the EU-SILC. Final report. Technical report, APPLICA and CESEP and ALPHAMETRICS, 2007.
- [17] Loudes Tortosa, Carlos García Molina, Álvaro Page, y Alberto Ferreras. *Ergonomía y discapacidad*. Instituto de Biomecánica de Valencia, 1999.
- [18] Europea Commission. Long Term Care in the European Union, 2008.
- [19] World Health Organization. *International Classification of Functioning, Disability, and Health: Children & Youth Version: ICF-CY*. World Health Organization, 2007.
- [20] European Commission. Europe in figures - Eurostat yearbook. 2003-2008, 2008.
- [21] European Commission. Eurostat regional yearbook, 2011.
- [22] Alexandre Kalache y Ilona Kickbusch. A global strategy for healthy ageing. *World health*, 50(4):4-5, 1997.
- [23] Jaime González Martín, Diego Bas Insaugarat, Beatriz Lopez Mencia, Laparra-Hernández, Jose Fiorenza Arisio, y Ilaria Pellini. Deliverable 2.5. requirements of user interface. BANK4ELDER project. Technical report, Instituto de Biomecánica de Valencia, 2012.

- [24] MP Lawton y EM Brody. Assessment of older people: self-maintaining and instrumental activities of daily living. *Gerontologist*, 9:1791–86, 1969.
- [25] UNE EN ISO 9999. Productos de apoyo para personas con discapacidad. Clasificación y terminología, 2007.
- [26] R Poveda. PROMAYOR: Problemas y necesidades de las personas mayores con los productos para la vida diaria. informe final no publicado. Technical report, Instituto de Biomecanica de Valencia, 2004.
- [27] Julio Cabero. Impacto de las nuevas tecnologías de la información y la comunicación en las organizaciones educativas. In M Lorenzo, editor, *Enfoques en la organización y dirección de instituciones educativas formales y no formales*, pages 197–206. Granada: Grupo Editorial Universitario, 1998.
- [28] Internet world stats, 2013. URL www.internetworldstats.com.
- [29] Marcantonio M. Spada. An overview of problematic internet use. *Addictive behaviors*, 39(1):3–6, 2014.
- [30] Karen Stendal, Susan Balandin, y Judith Molka-Danielsen. Virtual worlds: A new opportunity for people with lifelong disability? *Journal of Intellectual and Developmental Disability*, 36(1):80–83, 2011.
- [31] April D’Aubin. Working for Barrier Removal in the ICT Area: Creating a More Accessible and Inclusive Canada: A Position Statement by the Council of Canadians with Disabilities. *The Information Society*, 23(3):193–201, 2007.
- [32] Peter Anderberg y Bodil Jönsson. Being there. *Disability & Society*, 20(7): 719–733, 2005.
- [33] Karen Stendal. How do people with disability use and experience virtual worlds and ICT: A literature review. *Journal For Virtual Worlds Research*, 5(1):1–17, 2012.
- [34] Eurostat. European Bussiness. Facts and figures, 2009 .
- [35] Jatinder Singh. Exploiting ICT for Empowering People with Disabilities (PWDs). *Indian Journal of Inclusive Growth*, 1(1):113–119, 2013.
- [36] Accesibilidad web WAI. URL <http://www.w3.org/WAI/intro/accessibility.php>.
- [37] World Wide Web Consortium. URL <http://www.w3.org/>.
- [38] Portal Discapnet, . URL <http://www.discapnet.es/>.

- [39] Accesibilidad Discapnet, . URL <http://www.discapnet.es/Discapnet/Castellano/Accesibilidad/default.html>.
- [40] Observatorio Infoaccesibilidad, . URL http://www.discapnet.es/Discapnet/Castellano/Observatorio_infoaccesibilidad/default.html.
- [41] Jutta Treviranus, C McCathieNevile, I Jacobs, y J Richards. Authoring Tool Accessibility Guidelines 1.0. W3C Recommendation 3 February 2000, 2000. URL <http://www.w3.org/TR/2000/REC-ATAG10-20000203>.
- [42] Ian Jacobs, Jon Gunderson, Eric Hansen, y Ian Jacobs Wc. User agent accessibility guidelines 1.0, 2000.
- [43] Wendy Chisholm, Gregg Vanderheiden, y Ian Jacobs. Web Content Accessibility Guidelines 1.0. *Interactions*, 8(4):35–54, 2001.
- [44] Ben Caldwell, Michael Cooper, Loretta Guarino Reid, y Gregg Vanderheiden. *Web content accessibility guidelines (WCAG) 2.0*, volume 11. W3C, 2008.
- [45] Daniel Dardailler, Sean B Palmer, y Charles McCathieNevile. XML Accessibility Guidelines. *Retrieved March*, 1:2004, 2002.
- [46] ISO 9241-151. Ergonomía de la interacción hombre-sistema. Parte 151: Directrices para las interfaces del usuario web, 2008.
- [47] ISO 9241-171. Ergonomics of human-system interaction. Guidance on software accessibility, 2008.
- [48] ISO/TS 16071. Ergonomics of human-system interaction – Guidance on accessibility for human-computer interfaces, 2003.
- [49] UNE 139801. Aplicaciones informáticas para personas con discapacidad. Requisitos de accesibilidad al ordenador. Hardware, 2003.
- [50] UNE 139802. Requisitos de accesibilidad del software, 2009.
- [51] BOBBY. URL www.cast.org/bobby/.
- [52] A-prompt. URL aprompt.snow.utoronto.ca/.
- [53] Test Accesibilidad Web TAW. URL <http://www.tawdis.net/>.
- [54] Fundación CTIC. URL <http://www.fundacionctic.org/>.
- [55] Aplicación HERA. URL <http://www.sidar.org/hera/>.
- [56] Fundacion Sidar. URL <http://www.sidar.org/>.

- [57] Pautas de Accesibilidad del contenido en la web 1.0, 1999. URL http://www.discapnet.es/web_accessible/wcag10/WAI-WEBCONTENT-19990505_es.html.
- [58] ISO 9241-11. ergonomic Requirements for Office Work with Visual Display Terminals (VDTs): Part 11: Guidance on Usability, 1998.
- [59] Miguel Angel Sánchez. ¿Qué es eso llamado usabilidad? *Boletín Factores Humanos*, 1(10):1-310, 1993.
- [60] Tom Brinck, Darren Gergle, y Scott D. Wood. *Usability for the Web: designing Web sites that work*. Morgan Kaufmann, 2001.
- [61] Juan-Manuel Belda-Lois, Helios de Rosario, Romà Pons, Rakel Poveda, Ana Morón, Rosa Porcar, y Amelia Gómez. Can human movement analysis contribute to usability understanding? *Human movement science*, 29(4):529-541, 2010.
- [62] Michael O Leavitt y Ben Shneiderman. Research-based web design & usability guidelines. Technical report, US Department of Health and Human Services, 2006.
- [63] ETSI 202 116 v1. 2.1 (2002-09). Human Factors (HF). Guidelines for ICT products and services, 2002.
- [64] ISO 9241-9. Ergonomic requirements for office work with visual display terminals (VDTs). Part 9: Requirements for non-keyboard input devices, 2000.
- [65] Deborah Hix y H Rex Hartson. *Developing user interfaces: ensuring usability through product & process*. John Wiley & Sons, Inc., 1993.
- [66] Zhao Xia Jin, Tom Plocher, y Liana Kiff. Touch screen user interfaces for older adults: button size and spacing. In *Universal Access in Human Computer Interaction. Coping with Diversity*, pages 933-941. Springer, 2007.
- [67] Herbert A Colle y Keith J Hiszem. Standing at a kiosk: Effects of key size and spacing on touch screen numeric keypad performance and user preference. *Ergonomics*, 47(13):1406-1423, 2004.
- [68] Wei-siong Tan, Dahai Liu, y Ram Bishu. Web evaluation: Heuristic evaluation vs. user testing. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 39(4):621-627, 2009.
- [69] Kasper Hornbaek. Current practice in measuring usability: Challenges to usability studies and research. *International Journal of Man-Machine Studies*, 64(2):79-102, 2006.

- [70] Andrew Sears y Julie A. Jacko. *The human-computer interaction handbook: fundamentals, evolving technologies and emerging applications*. CRC press, 2007.
- [71] Stuart K. Card, Thomas P. Moran, y Allen Newell. *The psychology of human-computer interaction*. CRC Press, 1986.
- [72] Neil Charness y Elizabeth A. Bosman. Human factors and design for older adults. In *Handbook of the psychology of aging. The handbooks of aging*, page 446–463. Birren, James E and Schaie, K Warner, 1990.
- [73] John R. Anderson. *The architecture of cognition*. Cambridge: MA, 1983.
- [74] Allen Newell. *Unified theories of cognition*. Harvard University Press, 1994.
- [75] John E Laird, Allen Newell, y Paul S Rosenbloom. SOAR: An architecture for general intelligence. *Artificial intelligence*, 33(1):1–64, 1987.
- [76] Harold Thimbleby, Paul Cairns, y Matt Jones. Usability analysis with Markov models. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction (TOCHI)*, 8(2): 99–132, 2001.
- [77] Shuan Lo y Martin G. Helander. Developing a formal usability analysis method for consumer products. In *Proceedings of ICAD, The Third International Conference on Axiomatic Design*, volume 26, page 1–8, 2004.
- [78] Jakob Nielsen. Usability inspection methods. In *Conference companion on Human factors in computing systems*, page 413–414. ACM, 1994.
- [79] Tao Lin, Masaki Omata, Wanhua Hu, y Atsumi Imamiya. Do physiological data relate to traditional usability indexes? In *Proceedings of the 17th Australia conference on Computer-Human Interaction: Citizens Online: Considerations for Today and the Future*, page 1–10. Computer-Human Interaction Special Interest Group (CHISIG) of Australia, 2005.
- [80] Robert Pearson y Paul van Schaik. The effect of spatial layout of and link colour in web pages on performance in a visual search task and an interactive search task. *International Journal of Human-Computer Studies*, 59(3):327–353, 2003.
- [81] Jakob Nielsen. Breadcrumb navigation increasingly useful, 2007. URL <http://www.nngroup.com/articles/breadcrumb-navigation-useful/>.
- [82] J. Laparra-Hernández, J. M. Belda-Lois, E. Medina, N. Campos, y R. Poveda. EMG and GSR signals for evaluating user’s perception of different types of ceramic flooring. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 39(2):326–332, 2009.

- [83] Michael Lewis, Jeannette M. Haviland-Jones, y Lisa Feldman Barrett. *Handbook of emotions*. Guilford Press, 2010.
- [84] Paul Ed Ekman y Richard J. Davidson. *The nature of emotion: Fundamental questions*. Oxford University Press, 1994.
- [85] Joseph LeDoux y Jules R. Bemporad. The emotional brain. *Journal of the American Academy of Psychoanalysis*, 25(3):525–528, 1997.
- [86] John T. Cacioppo, Gary G. Berntson, Jeff T. Larsen, Kirsten M. Poehlmann, y Tiffany A. Ito. The psychophysiology of emotion. *Handbook of emotions*, 2: 173–191, 2000.
- [87] N. Fragopanagos y John G. Taylor. Emotion recognition in human–computer interaction. *Neural Networks*, 18(4):389–405, 2005.
- [88] William James. *Writings, 1878–1899*. New York: Library of America, 1987.
- [89] C. G. Lange. *Über gemuthsbewegungen. Eine psycho-physiologische Studie*. Leipzig, 1887.
- [90] Magda B. Arnold. *Emotion and personality*. New York, NY, US: Columbia University Press, 1960.
- [91] Richard S. Lazarus. *Psychological stress and the coping process*. New York, NY, US: McGraw-Hill, 1966.
- [92] Kenneth T. Strongman. *The psychology of emotion: theories aof emotion in perspective*. Chichester, UK: Wiley, 1996.
- [93] Carroll E. Izard. *The face of emotion*. New York Appleton-Century-Croft, 1971.
- [94] Paul Ekman y Wallace V. Friesen. Constants across cultures in the face and emotion. *Journal of personality and social psychology*, 17(2):124, 1971.
- [95] Catherine Lutz y Geoffrey M. White. The anthropology of emotions. *Annual Review of anthropology*, 15(1):405–436, 1986.
- [96] Wallace V. Friesen. *Cultural differences in facial expressions in a social situation: An experimental test on the concept of display rules*. PhD thesis, ProQuest Information & Learning, 1973.
- [97] Paul Ekman. Universals and cultural differences in facial expressions of emotion. In *Nebraska symposium on motivation*. University of Nebraska Press, 1971.

- [98] Carroll E. Izard y Carol Z. Malatesta. Perspectives on emotional development i: Differential emotions theory of early emotional development. In *The first draft of this paper was based on an invited address to the Eastern Psychological Association, Apr 1, 1983*. John Wiley & Sons, 1987.
- [99] Sandra E. Duclos, James D. Laird, Eric Schneider, Melissa Sexter, Lisa Stern, y Oliver Van Lighten. Emotion-specific effects of facial expressions and postures on emotional experience. *Journal of Personality and Social Psychology*, 57(1): 100, 1989.
- [100] Silvan S. Tomkins. *Affect, imagery, consciousness: I. The positive affects*. Oxford, England, Springer, 1962.
- [101] Silvan S. Tompkins. *Affect, imagery, consciousness: II. The Negative Affects*. Oxford, England, Springer, 1963.
- [102] Paul Ekman. Are there basic emotions? *Psychological Review*, 99(3):550–553, 1992.
- [103] Robert W. Levenson, Paul Ekman, y Wallace V. Friesen. Voluntary facial action generates emotion-specific autonomic nervous system activity. *Psychophysiology*, 27(4):363–384, 1990.
- [104] Andrew Ortony y Terence J. Turner. What's basic about basic emotions? *Psychological review*, 97(3):315, 1990.
- [105] Paul Ekman. Facial expression and emotion. *American Psychologist*, 48(4): 384, 1993.
- [106] Walter B. Cannon. The james-lange theory of emotions: a critical examination and an alternative theory. By Walter B Cannon, 1927. *The American Journal of Psychology*, 100(3–4):567–586, 1987.
- [107] Alain Berthoz. *Emotion and reason: The cognitive neuroscience of decision making*. OUP Oxford, 2006.
- [108] Paul Ekman, Robert W. Levenson, y Wallace V. Friesen. Autonomic nervous system activity distinguishes among emotions. *Science*, 221(4616):1208–1210, 1983.
- [109] Robert W. Levenson. Emotion and the autonomic nervous system: A prospectus for research on autonomic specificity. In Hugh L Wagner, editor, *Social psychophysiology and emotion: Theory and clinical applications*, page 17–42. Oxford, England: John Wiley & Sons, 1988.
- [110] Stanley Schachter y Jerome Singer. Cognitive, social, and physiological determinants of emotional state. *Psychological review*, 69(5):379, 1962.

- [111] Paul D. MacLean. The triune brain, emotion, and scientific bias. In *The neurosciences: Second study program*, page 336–349. New York: Rockefeller University Press, 1970.
- [112] James W Papez. A proposed mechanism of emotion. 1937. *The Journal of neuropsychiatry and clinical neurosciences*, 7(1):103, 1995.
- [113] Joseph E LeDoux. Emotion circuits in the brain. In *Annual Review of Neuroscience*, volume 23, page 155–158. Psychology Press, 2000.
- [114] Norbert Schwarz y Gerald L. Clore. Feelings and phenomenal experiences. *Social psychology: Handbook of basic principles*, 2:385–407, 1996.
- [115] B. L. Fredrikson. The Value of Positive Emotions: The emerging science of positive psychology is coming to understand why it's good to feel good. *American Scientist*, 91:330–335, 2003.
- [116] Joseph P. Forgas. *Emotion and social judgments*. Number 23. Psychology Press, 1991.
- [117] James J. Gross y Robert W. Levenson. Hiding feelings: the acute effects of inhibiting negative and positive emotion. *Journal of abnormal psychology*, 106(1):95, 1997.
- [118] Gordon H. Bower. Mood and memory. *American psychologist*, 36(2):129, 1981.
- [119] Fatma Nasoz, Christine L. Lisetti, Kaye Alvarez, y Neal Finkelstein. Emotion recognition from physiological signals for user modeling of affect. In *Proceedings of the 3rd Workshop on Affective and Attitude User Modelling*, Pittsburgh, PA, USA, 2003.
- [120] Robert B. Zajonc. On the primacy of affect. *American Psychologist*, 39(2):117–123, 1984.
- [121] Antonio Damasio. *Descartes' error: Emotion, reason and the human brain*. Random House, 2008.
- [122] Joseph E. LeDoux. Brain mechanisms of emotion and emotional learning. *Current opinion in neurobiology*, 2(2):191–197, 1992.
- [123] Douglas Derryberry y Don M. Tucker. Neural mechanisms of emotion. *Journal of consulting and clinical psychology*, 60(3):329, 1992.
- [124] Robert M. Yerkes y John D. Dodson. The relation of strength of stimulus to rapidity of habit-formation. *Journal of comparative neurology and psychology*, 18(5):459–482, 1908.

- [125] Nico H. Frijda. *The emotions*. Cambridge University Press, 1986.
- [126] Ray L. Birdwhistell. *Kinesics and context: Essays on body motion communication*. University of Pennsylvania press, 2011.
- [127] William James. *Essays in psychology*, volume 13. Harvard University Press, 1983.
- [128] J. P. Fell. The phenomenological approach to emotion. In D. K. Candland, J.P. Fell, J.P. Keen, A.T. Leshner, R.M. Tarpay, y Plutchik R., editors, *Emotion*. Monterey, CA: Brooks/Cole, 1977.
- [129] Howard Leventhal y Linda Patrick-Miller. Emotion and illness: The mind is in the body. In Michael Lewis y Jeannette M Haviland, editors, *Handbook of emotions*, page 365–379. New York, NY, US: Guilford Press, 1993.
- [130] O. Mowrer. *Learning theory and behavior*. New York, Wiley, 1960.
- [131] Robert Plutchik. A general psychoevolutionary theory of emotion. *Emotion: Theory, research, and experience*, 1(3):3–33, 1980.
- [132] Kees Leidelmeijer. *Emotions: An experimental approach*. Tilburg University Press, 1991.
- [133] Carroll E. Izard. *Human emotions*. Boom Koninklijke Uitgevers, 1977.
- [134] Robert W. Levenson. Autonomic nervous system differences among emotions. *Psychological science*, 3(1):23–27, 1992.
- [135] Patricia S. Goldman-Rakic. Regional and cellular fractionation of working memory. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 93(24):13473–13480, 1996.
- [136] Aaron Sloman. Damasio, Descartes, alarms and meta-management. In *International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, volume 3, page 2652–2657. IEEE, 1998.
- [137] Manfred Clynes y Yehudi Menuhin. *Sentics: The touch of emotions*. Anchor Press Garden City, NY, 1977.
- [138] James A. Coan y John JB Allen. Frontal EEG asymmetry as a moderator and mediator of emotion. *Biological psychology*, 67(1):7–50, 2004.
- [139] Peter J. Lang, Mark K. Greenwald, Margaret M. Bradley, y Alfons O. Hamm. Looking at pictures: Affective, facial, visceral, and behavioral reactions. *Psychophysiology*, 30(3):261–273, 1993.

- [140] Kent C. Berridge. Pleasures of the brain. *Brain and cognition*, 52(1):106–128, 2003.
- [141] Eddie Harmon-Jones, David M. Amodio, y Leah R. Zinner. Social psychological methods of emotion elicitation. In James A. Coan y Allen John J B, editors, *Handbook of emotion elicitation and assessment*, page 91–105. Oxford University Press, 2007.
- [142] Leonard Berkowitz, Sara Jaffee, Eunkyung Jo, y Bartholomeu T. Troccoli. On the correction of feeling-induced judgmental biases. In Joseph P Forgas, editor, *Feeling and thinking: The role of affect in social cognition*, page 131–152. University of Cambridge, 2000.
- [143] Russell H. Fazio. Social influence: The ontario symposium. Ontario symposium on personality and social psychology. In Mark P. Zanna, James M. Olson, y C. Peter Herman, editors, *Self-perception theory: A current perspective*, volume 5, page 129–150. Hillsdale, NJ, Englad: Lawrence Erlbaum Associates, 1987.
- [144] William F. Flack Jr, Lorraine A. Cavallaro, James D. Laird, y Daniel R. Miller. Accurate encoding and decoding of emotional facial expressions in schizophrenia. *Psychiatry*, 60:222–235, 1997.
- [145] William F. Flack, James D. Laird, y Lorraine A. Cavallaro. Emotional expression and feeling in schizophrenia: effects of specific expressive behaviors on emotional experiences. *Journal of clinical psychology*, 55(1):1–20, 1999.
- [146] Jennifer Healey y Rosalind Picard. Smartcar: detecting driver stress. In *Proceedings of 15th International Conference on Pattern Recognition.*, volume 4, page 218–221. IEEE, 2000.
- [147] Renee Van Bezooijen. *Characteristics and recognizability of vocal expressions of emotion*, volume 5. Walter de Gruyter, 1984.
- [148] S. Schnall, J. D. Laird, L. Campbell, H. Hwang, S. Silverman, y D. Sullivan. More than meets the eye: Avoiding gaze makes you feel guilty. In *Annual meeting of the Society for Personality and Social Psychology*, Nashville, TN, 2000.
- [149] Stephen L. Crites y John T. Cacioppo. Electro cortical differentiation of evaluative and nonevaluative categorizations. *Psychological Science*, 7(5):318–321, 1996.
- [150] Bruce N. Cuthbert, Harald T. Schupp, Margaret M. Bradley, Niels Birbaumer, y Peter J. Lang. Brain potentials in affective picture processing: covariation with autonomic arousal and affective report. *Biological psychology*, 52(2): 95–111, 2000.

- [151] Daniela Palomba, Michela Sarlo, Alessandro Angrilli, Alessio Mini, y Luciano Stegagno. Cardiac responses associated with affective processing of unpleasant film stimuli. *International Journal of Psychophysiology*, 36(1):45–57, 2000.
- [152] Andreas Keil, Margaret M. Bradley, Olaf Hauk, Brigitte Rockstroh, Thomas Elbert, y Peter J. Lang. Large-scale neural correlates of affective picture processing. *Psychophysiology*, 39(5):641–649, 2002.
- [153] P Lang y Margaret M Bradley. The international affective picture system (IAPS) in the study of emotion and attention. In James A. Coan y John J B Allen, editors, *Handbook of emotion elicitation and assessment*, pages 29–46. Oxford University Press, 2007.
- [154] John T. Cacioppo, Louis G. Tassinary, y Alan J. Fridlund. The skeletomotor system. In John T. Cacioppo y Louis G. Tassinary, editors, *Principles of psychophysiology: Physical, social, and inferential elements*, pages 325–384. New York, NY, US: Cambridge University Press, 1990.
- [155] Gary E. Schwartz, Paul L. Fair, Patricia Salt, Michel R. Mandel, y Gerald L. Klerman. Facial muscle patterning to affective imagery in depressed and non-depressed subjects. *Science*, 192(4238):489–491, 1976.
- [156] Serena-Lynn Brown y Gary E. Schwartz. Relationships between facial electromyography and subjective experience during affective imagery. *Biological Psychology*, 11(1):49–62, 1980.
- [157] Gary E Schwartz, Paul L Fair, Patricia Salt, Michel R Mandel, y Gerald L Klerman. Facial expression and imagery in depression: An electromyographic study. *Psychosomatic Medicine*, 38(5):337–347, 1976.
- [158] Jeff T. Larsen, Catherine J. Norris, y John T. Cacioppo. Effects of positive and negative affect on electromyographic activity over zygomaticus major and corrugator supercilii. *Psychophysiology*, 40(5):776–785, 2003.
- [159] Mark K. Greenwald, Edwin W. Cook, y Peter J. Lang. Affective judgment and psychophysiological response: Dimensional covariation in the evaluation of pictorial stimuli. *Journal of psychophysiology*, 3:51–64, 1989.
- [160] Charlotte Vanoyenb Wiltvielt y Scott R. Vrana. Psychophysiological responses as indices of affective dimensions. *Psychophysiology*, 32(5):436–443, 1995.
- [161] John T. Cacioppo, Richard E. Petty, Mary E. Losch, y Hai Sook Kim. Electromyographic activity over facial muscle regions can differentiate the valence and intensity of affective reactions. *Journal of personality and social psychology*, 50(2):260, 1986.

- [162] Margaret M. Bradley, Maurizio Codispoti, Bruce N. Cuthbert, y Peter J. Lang. Emotion and motivation I: defensive and appetitive reactions in picture processing. *Emotion*, 1(3):276, 2001.
- [163] Frances K. Graham y Rachel K. Clifton. Heart-rate change as a component of the orienting response. *Psychological bulletin*, 65(5):305, 1966.
- [164] Peter J Lang, Margaret M Bradley, Bruce N Cuthbert, et al. International affective picture system (IAPS): Instruction manual and affective ratings. Technical Report A-6, NIMH, Center for the Study of Emotion & Attention, 1999.
- [165] Kenneth M. Prkachin, Rhonda M. Williams-Avery, Caroline Zwaal, y David E. Mills. Cardiovascular changes during induced emotion: An application of Lang's theory of emotional imagery. *Journal of Psychosomatic Research*, 47(3):255–267, 1999.
- [166] Pierre Rainville, Antoine Bechara, Nasir Naqvi, y Antonio R. Damasio. Basic emotions are associated with distinct patterns of cardiorespiratory activity. *International journal of psychophysiology*, 61(1):5–18, 2006.
- [167] D.P. Sancho y J.Y. Lezaun. *Emociones y envejecimiento*. Caixa Catalunya, Obra social, 2009.
- [168] John T. Cacioppo, Gary G. Berntson, David J. Klein, y Kirsten M. Poehlmann. Psychophysiology of emotion across the life span. *Annual review of gerontology and geriatrics*, 17:27–74, 1997.
- [169] Maurizio Codispoti, Margaret M. Bradley, y Peter J. Lang. Affective reactions to briefly presented pictures. *Psychophysiology*, 38(3):474–478, 2001.
- [170] Margaret M. Bradley, Peter J. Lang, y Bruce N Cuthbert. Emotion, novelty, and the startle reflex: habituation in humans. *Behavioral neuroscience*, 107(6): 970, 1993.
- [171] Mandeep Singh y Abdullah Bin Queyam. Correlation between physiological parameters of automobile drivers and traffic conditions. *International Journal of Electronics Engineering*, 5(2):6–12, 2013.
- [172] Bradley M Appelhans y Linda J Luecken. Heart rate variability as an index of regulated emotional responding. *Review of general psychology*, 10(3):229, 2006.
- [173] David G Wastell y Michael Newman. Stress, control and computer system design: a psychophysiological field study. *Behaviour & Information Technology*, 15(3):183–192, 1996.

- [174] MV Kamath, EL Fallen, E Dixon, N McCartney, G Mishkel, JP Reilly, y ARM Upton. Clinical applications of heart rate variability power spectra. In *Engineering in Medicine and Biology Society, 1991. Vol. 13: 1991., Proceedings of the Annual International Conference of the IEEE*, pages 656–657. IEEE, 1991.
- [175] Wolfram Boucsein. *Electrodermal activity*, 1992.
- [176] Changchun Liu, Karla Conn, Nilanjan Sarkar, y Wendy Stone. Physiology-based affect recognition for computer-assisted intervention of children with Autism Spectrum Disorder. *International journal of human-computer studies*, 66(9):662–677, 2008.
- [177] Peter J. Lang. The emotion probe: Studies of motivation and attention. *American psychologist*, 50(5):372, 1995.
- [178] Margaret M. Bradley, Maurizio Codispoti, Dean Sabatinelli, y Peter J. Lang. Emotion and motivation II: sex differences in picture processing. *Emotion*, 1(3):300, 2001.
- [179] Cornelia Kappeler-Setz, Franz Gravenhorst, Johannes Schumm, Bert Arnrich, y Gerhard Tröster. Towards long term monitoring of electrodermal activity in daily life. *Personal and ubiquitous computing*, 17(2):261–271, 2013.
- [180] Robert D Ward y Philip H Marsden. Physiological responses to different web page designs. *International Journal of Human-Computer Studies*, 59(1):199–212, 2003.
- [181] Pierfrancesco Foglia, Cosimo Antonio Prete, y Michele Zanda. Relating GSR Signals to traditional Usability Metrics: Case Study with an anthropomorphic Web Assistant. In *Instrumentation and Measurement Technology Conference Proceedings*, pages 1814–1818. IEEE, 2008.
- [182] Giovanni Vecchiato, Laura Astolfi, Fabrizio De Vico Fallani, Febo Cincotti, Donatella Mattia, Serenella Salinari, Ramon Soranzo, y Fabio Babiloni. Changes in brain activity during the observation of tv commercials by using eeg, gsr and hr measurements. *Brain topography*, 23(2):165–179, 2010.
- [183] James A Russell. A circumplex model of affect. *Journal of personality and social psychology*, 39(6):1161, 1980.
- [184] Kim J Vicente, D Craig Thornton, y Neville Moray. Spectral analysis of sinus arrhythmia: A measure of mental effort. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 29(2):171–182, 1987.

- [185] Tao Lin y Atsumi Imamiya. Evaluating usability based on multimodal information: an empirical study. In *Proceedings of the 8th international conference on Multimodal interfaces*, pages 364–371. ACM, 2006.
- [186] Chong Zhang, Chong-Xun Zheng, y Xiao-Lin Yu. Automatic recognition of cognitive fatigue from physiological indices by using wavelet packet transform and kernel learning algorithms. *Expert Systems with Applications*, 36(3):4664–4671, 2009.
- [187] Jocelyn Scheirer, Raul Fernandez, Jonathan Klein, y Rosalind W Picard. Frustrating the user on purpose: a step toward building an affective computer. *Interacting with computers*, 14(2):93–118, 2002.
- [188] Richard Hazlett. Measurement of user frustration: a biologic approach. In *CHI'03 extended abstracts on Human factors in computing systems*, pages 734–735. ACM, 2003.
- [189] Marcel Adam Just y Patricia A. Carpenter. Eye fixations and cognitive processes. *Cognitive Psychology*, 8(4):441–480, 1976.
- [190] Laura A. Granka, Thorsten Joachims, y Geri Gay. Eye-tracking analysis of user behavior in WWW search. In *Proceedings of the 27th annual international ACM SIGIR conference on Research and development in information retrieval*, page 478–479. ACM, 2004.
- [191] Robert JK Jacob. Eye tracking in advanced interface design. In Woodrow Barfield y Thomas A Furness, editors, *Virtual environments and advanced interface design*, page 258–288. Oxford University Press, 1995.
- [192] John M. Henderson y Andrew Hollingworth. High-level scene perception. *Annual review of psychology*, 50(1):243–271, 1999.
- [193] Daniel Kahneman. *Attention and effort*. Englewood Cliffs, NY, Prentice Hall, 1973.
- [194] Alfred L. Yarbus. Eye movements during perception of complex objects. In *Eye movements and vision*, page 171–211. Springer, 1967.
- [195] J. A. Stern, T. B. Brown, y S. Kristjansson. The EYE: Reflector of attentional processes. *International Journal of Psychophysiology*, 69(3):191, 2008.
- [196] Arne John Glenstrup y Theo Engell-Nielsen. Eye controlled media: Present and future state. Technical report, University of Copenhagen, Laboratory of Psychology, 1995.
- [197] Robert JK Jacob. The use of eye movements in human-computer interaction techniques: what you look at is what you get. *ACM Transactions on Information Systems (TOIS)*, 9(2):152–169, 1991.

- [198] J. Paulin Hansen, A. W. Andersen, y Peter Roed. Eye-gaze control of multimedia systems. In *6th International Conference on Human-Computer Interaction*, page 37–42, 1995.
- [199] C. C. Smyth, B. B. Bates, M. C. Lopez, y N. R. Ware. A comparison of eye-gaze to touch panel and head-fixed reticle for helicopter display control and target acquisition during a simulated armed reconnaissance mission. In *Proceedings of the Second Mid-Atlantic Human Factors Conference, Washington, DC, Fairfax, VA, George Mason University*, page 49, 1994.
- [200] Colin Ware y Harutune H. Mikaelian. An evaluation of an eye tracker as a device for computer input. In *ACM SIGCHI Bulletin*, volume 17, page 183–188. ACM, 1987.
- [201] Paul J. Barber y David Legge. *Perception and information*. Methuen, 1976.
- [202] Richard A. Bolt. *Human Interface: Where People and Computers Meet*. John Wiley & Sons, Inc., 1985.
- [203] Harry L. Snyder. Dynamic visual search patterns. In *Visual Search*, pages 51–63. National Academy of Sciences, 1973.
- [204] Alan Baddeley. The concept of working memory: A view of its current state and probable future development. *Cognition*, 10(1):17–23, 1981.
- [205] Marcel Adam Just y Patricia A. Carpenter. A theory of reading: From eye fixations to comprehension. *Psychological review*, 87:329–354, 1980.
- [206] W. Helsen y J. M. Pauwels. Analysis of visual search activity in solving tactical game problems. In D Brogan, editor, *Visual search*, page 177–184. Taylor an, 1990.
- [207] C Goulet, C Bard, y M Fleury. Visual search strategies and information processing in a racquet sport situation. In D Brogan, editor, *Visual Search*, pages 185–192. Taylor and Francis, London, 1990.
- [208] John M. Henderson, Carrick C. Williams, Monica S. Castelhana, y Richard J. Falk. Eye movements and picture processing during recognition. *Perception & Psychophysics*, 65(5):725–734, 2003.
- [209] Tero Vuori, Maria Olkkonen, Monika Pölönen, Ari Siren, y Jukka Häkkinen. Can eye movements be quantitatively applied to image quality studies? In *Proceedings of the third Nordic conference on Human-computer interaction*, page 335–338. ACM, 2004.
- [210] Marc Pomplun, Lorenz Sichelschmidt, Karin Wagner, Thomas Clermont, Gert Rickheit, y Helge Ritter. Comparative visual search: A difference that makes a difference. *Cognitive Science*, 25(1):3–36, 2001.

- [211] Robert JK Jacob y Keith S. Karn. Eye tracking in human-computer interaction and usability research: Ready to deliver the promises. *Mind*, 2(3):4, 2003.
- [212] PM Fitts, RE Jones, y JL Milton. Eye fixations of aircraft pilots: Frequency, duration, and sequence of fixations when flying Air Force ground controlled approach system (GCA). Technical report, AF Tech. Rept. 5967 (ATI 69038), 1950.
- [213] Dongheng Li, Jason Babcock, y Derrick J Parkhurst. openEyes: a low-cost head-mounted eye-tracking solution. In *Proceedings of the 2006 symposium on Eye tracking research & applications*, pages 95–100. ACM, 2006.
- [214] Alex Poole, Linden J. Ball, y Peter Phillips. In search of salience: A response-time and eye-movement analysis of bookmark recognition. In *People and Computers XVIII—Design for Life*, page 363–378. Springer, 2005.
- [215] Alex Poole y Linden J Ball. Eye tracking in hci and usability research. In Claude Ghaoui, editor, *Encyclopedia of human computer interaction*, volume 1, pages 211–219. Idea Group Reference, 2006.
- [216] Joseph H Goldberg y Anna M Wichansky. Eye tracking in usability evaluation: A practitioner’s guide. In Jukka Hyona, Ralph Radach, y Heiner Deubel, editors, *In The Mind’s Eye: Cognitive and Applied Aspects of Eye Movement Research*, page 493–516. Elsevier, 2003.
- [217] USOLAB. URL www.usolab.com.
- [218] Poynter. URL www.poynter.org/extra/Eyetrack/.
- [219] Simple Usability. URL <http://www.simpleusability.com/>.
- [220] Jared Spool. Eyetracking: Worth The Expense, 2006. URL <http://www.uie.com/brainsparks/2006/06/13/eyetracking-worth-the-expense>.
- [221] Joseph H. Goldberg y Xerxes P. Kotval. Computer interface evaluation using eye movements: methods and constructs. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 24(6):631–645, 1999.
- [222] Claudia Mello-Thoms, Calvin F. Nodine, y Harold L. Kundel. What attracts the eye to the location of missed and reported breast cancers? In *Proceedings of the 2002 symposium on Eye tracking research & applications*, page 111–117. ACM, 2002.
- [223] Laura Cowen, Linden Js Ball, y Judy Delin. An eye movement analysis of web page usability. In *People and Computers XVI-Memorable Yet Invisible*, page 317–335. Springer, 2002.

- [224] Michael D. Byrne, John R. Anderson, Scott Douglass, y Michael Matessa. Eye tracking the visual search of click-down menus. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human Factors in Computing Systems*, page 402–409. ACM, 1999.
- [225] W. Albert. Do web users actually look at ads? A case study of banner ads and eye-tracking technology. In *Proceedings of the 11th Annual Conference of the Usability Professionals' Association*, 2002.
- [226] Joseph H. Goldberg, Mark J. Stimson, Marion Lewenstein, Neil Scott, y Anna M. Wichansky. Eye tracking in web search tasks: design implications. In *Proceedings of the 2002 symposium on Eye tracking research & applications*, page 51–58. ACM, 2002.
- [227] John L. Sibert, Mehmet Gokturk, y Robert A. Lavine. The reading assistant: eye gaze triggered auditory prompting for reading remediation. In *Proceedings of the 13th annual ACM symposium on User interface software and technology*, page 101–107. ACM, 2000.
- [228] Sylvia R. Knust, Sandra P. Marshall, y Kyoko Ishizaka. Using Eye Activity to Study Cognitive Processes Underlying Individual Differences. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, volume 44, pages 129–132, 2000.
- [229] Jeffrey J. Hendrickson. Performance, preference, and visual scan patterns on a menu-based system: implications for interface design. In *ACM SIGCHI Bulletin*, volume 20, page 217–222. ACM, 1989.
- [230] Antti Aaltonen, Aulikki Hyrskykari, y Kari-Jouko Rähä. 101 spots, or how do users read menus? In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*, page 132–139. ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co., 1998.
- [231] RE Jones, JL Milton, y PM Fitts. Eye Fixations of Aircraft Pilots: IV. Frequency, Duration, and Sequence of Fixations during Routine Instrument Flight. Technical Report 5975, US Air Force Technical Report, 1949.
- [232] Valerii Vadimovich Fedorov. *Theory of optimal experiments*. Elsevier, 1972.
- [233] Ricard Barberá-Guillem, Raket Poveda, Juan V. Durá Gil, Jose Laparra-Hernández, Menchu Quesada Carmona, Nacho Sánchez Barrachina, y Jaime Prat. Guía básica de accesibilidad en el hogar. Integración de productos y servicios para el fomento de la vida independiente. Technical report, Instituto de Biomecánica de Valencia, 2008.

- [234] Peter Goos y Martina Vandebroek. D-optimal response surface designs in the presence of random block effects. *Computational statistics & data analysis*, 37(4):433–453, 2001.
- [235] H Nyquist. Certain topics in telegraph transmission theory. *IEEE Transactions on Communications*, 47:617–644, 1928.
- [236] Jeffrey C Ives y Janet K Wigglesworth. Sampling rate effects on surface emg timing and amplitude measures. *Clinical Biomechanics*, 18(6):543–552, 2003.
- [237] Christian Larivière, Alain Delisle, y André Plamondon. The effect of sampling frequency on emg measures of occupational mechanical exposure. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 15(2):200–209, 2005.
- [238] Frank N Wilson, A Garrard Macleod, y Paul S Barker. The accuracy of Eindhoven's equation. *American Heart Journal*, 7(2):203–206, 1931.
- [239] Jose Laparra-Hernández. Body surface mapping of atrial fibrillation. Master's thesis, Universidad Politénica de Valencia, 2006.
- [240] Jiapu Pan y Willis J Tompkins. A real-time qrs detection algorithm. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 32(3):230–236, 1985.
- [241] Michael Brennan, Marimuthu Palaniswami, y Peter Kamen. Do existing measures of Poincaré plot geometry reflect nonlinear features of heart rate variability? *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 48(11):1342–1347, 2001.
- [242] J Piskorski y P Guzik. Geometry of the poincaré plot of RR intervals and its asymmetry in healthy adults. *Physiological measurement*, 28(3):287–300, 2007.
- [243] BC de Castro, Heraldo L Guida, Adriano L Roque, Luiz Carlos de Abreu, Celso Ferreira, Renata S Marcomini, CB Monteiro, Fernando Adami, Viviane F Ribeiro, FL Fonseca, et al. Auditory stimulation with music influences the geometric indices of heart rate variability in response to the postural change maneuver. *Noise and Health*, 16(68):57–62, 2014.
- [244] Helios De Rosario Martinez. Analysing interactions of fitted models. 2013.
- [245] Deborah Hix y H Rex Hartson. *Developing user interfaces: ensuring usability through product & process*. John Wiley & Sons, Inc., 1993.
- [246] ETSI EG 202 106 V1.2.2 (2002-09). Human Factors (HF); Guidelines for ICT products and services; "Design for All".
- [247] ISO/TR22411. Ergonomics data and guidelines for the application of ISO/IEC Guide 71, 2008.

- [248] Pautas de Accesibilidad de las herramientas de Autor 1.0, 2000. URL <http://www.sidar.org/recur/desdi/traduc/es/index.php#herra1>.
- [249] Spring S Hull. Influence of training and exposure on the usage of breadcrumb navigation. *Usability News*, 6(1):1–4, 2004.
- [250] Bonnie Lida Rogers y Barbara Chaparro. Breadcrumb navigation: Further investigation of usage. *Usability News*, 5(2):1–7, 2003.
- [251] Web content accessibility guidelines 1.0, 1999.
- [252] Jakob Nielsen y Thomas K Landauer. A mathematical model of the finding of usability problems. In *Proceedings of the INTERACT'93 and CHI'93 conference on Human factors in computing systems*, pages 206–213. ACM, 1993.
- [253] Wonil Hwang y Gavriel Salvendy. Number of people required for usability evaluation: the 10 ± 2 rule. *Communications of the ACM*, 53(5):130–133, 2010.
- [254] Hiran B Ekanayake, Per Backlund, Tom Ziemke, Robert Ramberg, Kamalanath P Hewagamage, y Mikael Lebram. Comparing expert and novice driving behavior in a driving simulator. *environments*, 4:5, 2014.
- [255] Patrick W Jordan. *Designing pleasurable products: An introduction to the new human factors*. CRC Press, 2002.
- [256] Helen Petrie y Omar Kheir. The relationship between accessibility and usability of websites. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*, pages 397–406. ACM, 2007.
- [257] Ben Shneiderman. Universal usability. *Communications of the ACM*, 43(5): 84–91, 2000.
- [258] Giorgio Brajnik. Automatic web usability evaluation: what needs to be done. In *Proc. Human Factors and the Web, 6th Conference*, 2000.
- [259] Steve Krug. *Don't make me think!: a common sense approach to Web usability*. Pearson Education India, 2000.
- [260] Wolfgang FE Preiser y Elaine Ostroff. *Universal design handbook*. McGraw Hill Professional, 2001.
- [261] Alexandre N Tuch, Sandra P Roth, Kasper Hornbæk, Klaus Opwis, y Javier A Bargas-Avila. Is beautiful really usable? toward understanding the relation between usability, aesthetics, and affect in hci. *Computers in Human Behavior*, 28(5):1596–1607, 2012.

- [262] Masaaki Kurosu y Kaori Kashimura. Apparent usability vs. inherent usability: experimental analysis on the determinants of the apparent usability. In *Conference companion on Human factors in computing systems*, pages 292–293. ACM, 1995.
- [263] Andreas Sonderegger, Andreas Uebelbacher, Manuela Pugliese, y Juergen Sauer. The influence of aesthetics in usability testing: the case of dual-domain products. In *Proceedings of the 32nd annual ACM conference on Human factors in computing systems*, pages 21–30. ACM, 2014.
- [264] Rosalind W Picard. *Affective computing*. MIT press, 2000.

Apéndice A

Páginas web analizadas

En las tablas A.1, A.2, A.3, A.4 y A.5 se listan las páginas web seleccionadas de ayuntamientos, Comunidades Autónomas, viajes y transportes, Administración del Estado y Universidades. Este conjunto de páginas web se ha utilizado para evaluar la relación entre accesibilidad y usabilidad, y la presencia de los distintos parámetros web y sus correspondientes recomendaciones.

Ayuntamientos		
Madrid	Oviedo	Logroño
Barcelona	Pamplona	Cáceres
Málaga	Santander	Lugo
Murcia	San Sebastián	Ceuta
Palma de Mallorca	Castellón	Soria
Tenerife	Albacete	Teruel

Tabla A.1: Listado de páginas web analizadas de Ayuntamientos.

Comunidades Autónomas		
Andalucía	Castilla - La Mancha	La Rioja
Aragón	Castilla y León	Madrid
Asturias	Cataluña	Murcia
Baleares	Euskadi	Navarra
Canarias	Extremadura	Valencia
Cantabria	Galicia	

Tabla A.2: Listado de páginas web analizadas de Comunidades Autónomas.

Viajes y transportes		
Turespaña	La Sepulvedana	Spanair
viajar.com	RENFE	Air-Europa
Rumbo.es	FEVE	Alsa
Lastminute.com	Naviera	Transportes Madrid
Iberia	Naviera Baleària	Transportes Barcelona

Tabla A.3: Listado de páginas web analizadas del ámbito de viajes y transporte.

Administración del Estado		
Imserso	Agencia Tributaria	BOE
CEPAT	Minist. Educación	INEM
Portal Mayores	Correos	

Tabla A.4: Listado de páginas web analizadas de la Administración del Estado.

Universidades		
Navarra	Politécnica de Madrid	Rioja
Complutense	Vigo	Europea de Madrid
Deusto	Valladolid	Burgos
Pontificia de Comillas	Alicante	Pompeu Fabra
Compostela	Alcalá de Henares	Barcelona
Castilla la Mancha	León	Coruña
Oberta de Catalunya	Jaén	Nacc. Ed. Distancia
VIC	Córdoba	Granada
Jaume I	Barcelona	Menéndez Pelayo
Extremadura	Pública de Navarra	Zaragoza
Lleida	Cantabria	Católica San Antonio
Valencia	Antonio de Nebrija	San Pablo-CEU
Oviedo	Girona	Unibertsitatea
Rovira i Virgili	Camilo José Cela	Pontifica de Salamanca
Sevilla	Internacional SEK	Politécnica Cataluña
Ramon Llull	Politécnica de Valencia	Laguna
Rey Juan Carlos	Int. Andalucía	Carlos III de Madrid
Politec. Cartagena	Miguel Hernandez	Autónoma de Madrid
Málaga	Alfonso X El Sabio	Illes Balears
Pablo de Olavide	Salamanca	País Vasco
Cardenal Herrera-CEU	Huelva	Almería
Murcia	Gran Canaria	Franc. Victoria

Tabla A.5: Listado de páginas web analizadas de Universidades.

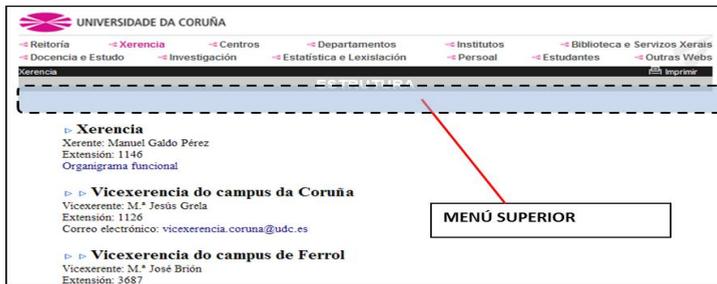
Apéndice B

Descripción y ejemplos de las recomendaciones de usabilidad

A continuación, se muestran ejemplos reales de cada de las pautas de usabilidad seleccionadas, con el objetivo de clarificar en que consiste cada recomendación web y facilitar la comprensión de los resultados obtenidos.

1. Menús: Los diferentes menús son una lista de las secciones que el sitio web ofrece en pantalla al usuario, pudiendo estar situados en la parte superior, en la derecha o en la izquierda (figuras B.1a, B.1c y B.1b)
2. Existe enlace “ir arriba”: Consiste en la utilización de marcadores, en aquellas páginas de gran tamaño, que facilitan dirigirse de forma automática y rápida desde el final de la página hasta el principio de ésta o donde se encuentre el marcador (figura B.2b).
3. Existe enlace “ir a inicio”: Permite a los usuarios el acceso a la página principal (“homepage”) desde cualquier otra página del sitio (figura B.2a).
4. Existe información contextual (“breadcrumb”): Consiste en un elemento que permite al usuario orientarse dentro del sitio web por el cual discurre su navegación. Este recurso normalmente se encuentra colocado en la parte izquierda, debajo de la cabecera de la página, e inmediatamente antes del contenido principal de la misma (figura B.2c).

5. Existe scroll horizontal: Si el tamaño de la página es demasiado grande, el usuario tendrá que utilizar el scroll horizontal para ver parte del contenido de la página (figura B.3c).
6. Existe imagen de fondo: Se basa en la colocación de una imagen detrás de gran parte del contenido principal (figura B.4a).
7. Los menús funcionan en modo señalar y hacer clic: Consiste en un recurso con el cual, al llevar el ratón hasta la opción querida o hacer clic en ella, se despliega una lista con más opciones (figura B.4b).
8. Mapa web: Es una herramienta para la organización y representación del sitio web (figura B.2d).
9. Diseño fluido: Es una funcionalidad que consigue que la página web se ajuste automáticamente al tamaño del monitor. Además, se consigue una utilización óptima del espacio del navegador. En las figuras B.3a y B.3b se muestran las diferencias entre disponer y no disponer de diseño fluido en la página web.
10. Número de opciones y niveles: Consiste en el máximo número de opciones y niveles que podemos encontrar en los menús, ya que puede ocurrir que la complejidad del menú no sea constante en todas las secciones. En la figura B.1d se muestra la diferencia entre el número de opciones y el número de niveles.



(a) Menú Superior



(b) Menú Izquierdo



(c) Menú Derecho



(d) Opciones y niveles

Figura B.1: Ejemplos de tipologías de menú.



(a) Ir a inicio



(b) Ir arriba



(c) Migas



(d) Mapa web

Figura B.2: Ejemplos de recomendaciones relacionadas con la navegación: ir a inicio, ir arriba, mapa web y migas.



(a) Ausencia de diseño fluido



(b) Diseño fluido



(c) Scroll horizontal

Figura B.3: Ejemplos de recomendaciones relacionadas con la visualización: diseño fluido y scroll horizontal.



(a) Imagen de fondo



(b) Señalar y hacer clic

Figura B.4: Ejemplos de recomendaciones relacionadas con la visualización y otros aspectos específicos de la interacción: imagen de fondo y señal y hacer clic.

Apéndice C

Cuestionario de usabilidad

Preguntas cuestionario de usabilidad	1	2	3	4	5
1.- He encontrado los elementos importantes a un simple vistazo					
2.- Considero que los elementos resultan significativos en toda la Web					
3.- Considero que el paso de una sección a otra es claro					
4.- He encontrado la información rápida y fácilmente					
5.- Existe un esquema claro sobre la información que se puede encontrar en la web					
6.- La web proporciona información sin necesidad de leer todo lo que se presenta en la pantalla					
7.- Los enlaces son descriptivos por lo que ayudan a orientarse en la web					
8.- Existe un mapa del sitio web claro y comprensible					
9.- Las formas de salir de cada sección son obvias					
10.- Existen elementos visibles en cada página que informan de la sección en la que te encuentras					
11.- He conseguido realizar las tareas propuestas sin errores					
12.- Considero que la web es agradable de ver y usar					
13.- La web es fácil de usar					
14.- Me siento confiado cuando utilizo la web					
15.- Necesito aprender muchas cosas para utilizar esta web					
16.- Considero que los textos son fáciles de leer					
17.- La estética de la web me gusta					
18.- La web tiene una estética adecuada					
19.- La web posee un buen diseño					
20.- La web es simple y ordenada					
21. En general que puntuación le da a la Web, donde 1 es muy mala y 10 muy buena					

Tabla C.1: Cuestionario para la evaluación de la usabilidad web. Escala de valoración Likert : 1 “Totalmente en desacuerdo”, 2 “Más bien en desacuerdo”, 3 “Indiferente”, 4 “Más bien en acuerdo”, y 5 “Totalmente de acuerdo”.

Apéndice D

Ejemplo programación mediante estilos CSS

A continuación, se muestra uno de los estilos CSS programados que han permitido modelar el sitio web y disponer de un control total sobre la presencia y modo de las recomendaciones web, así como asegurar que el resto de características (p.e. tamaño de letra o contraste) se mantengan constantes.

En el código, los comentarios se muestran entre “/*” y “*/” para facilitar la identificación de los distintos bloques y la comprensión al lector”. Además, para homogeneizar el código de los distintos estilos, dichos símbolos se utilizan para inhabilitar opciones/recomendaciones al transformarlos en comentarios.

```
/*Descripción estilo básico*/  
body{  
    font-family: "Arial", sans-serif;  
    font-size:100 %;  
    /*font-weight: bold;*/  
}/*Fin descripción estilo básico*/
```

```
/*Div que engloba a todo*/  
div.global{  
    /*width:100 %;*/  
    background-color: #FFFFFF;  
    /* Para que haya un escroller horizontal, eliminar width: 100 %*/
```

278 APÉNDICE D. EJEMPLO PROGRAMACIÓN MEDIANTE ESTILOS CSS

```
width:1000px;
background-image: url(./Imágenes/Logo_IBV.jpg);
}/*Fin del DIV que engloba a todo*/
```

```
/*Características del texto, los encabezados*/
/*p h1 h2 h3{ }*/
/*Fin Características texto y encabezados*/
```

```
/* MENÚ IZQUIERDO */
div.menuizq{
  /*Poisición Menú Izquierdo*/
  width:auto;
  float: left;
  padding:0;
  margin:0;
  width:20%;
  display:none;
}
#menuver li.menuver2 {
  list-style: none;
  margin: 0;
  display:block;
  width:auto;
  background-color: #000080;
  color:#FFFFFF;
}
#menuver li.menuver2 a {
  text-decoration: none;
  background-color: #000080;
  color:#FFFFFF;
  display:block;
}
/* Esconde los submenus*/
#menuver li.menuver2 ul{
  display: none;
  position: absolute;
}
/*Para hacer rollover*/
#menuver li.menuver2 ul a{
  text-decoration: none;
```

```

}
#menuver li.menuver2:hover ul {
    /* Muestra las subsecciones cuando el ratón está encima de la sección
    “padre”*/
    list-style: none;
    display: block;
    margin-left:9%;
    margin-top:-1.5%;
}
/* #menuver li.menuver2 a:hover{
    background: #29497b;
    color: #f90;
}*/
/*FIN MENÚ IZQUIERDO*/

/* MENÚ SUPERIOR*/
div.menusup{
    text-decoration: none;
    float:both;
    padding:0;
    margin:0;
    width:100%;
    margin-left:0%;
    height:20%;
}
#menuhor li.menuhor2 {
    list-style: none;
    margin: 0;
    display:inline;
}
#menuhor li.menuhor2 a {
    text-decoration: none;
    display:inline;
    background-color: #000080;
    color:#FFFFFF;
}
/* Esconde los submenus*/
#menuhor li.menuhor2 ul{
    display: none;
    position: absolute;

```

280 APÉNDICE D. EJEMPLO PROGRAMACIÓN MEDIANTE ESTILOS CSS

```
        background-color: #000080;
        color:#FFFFFF;
    }
    /*Para hacer rollover*/
    #menuhor li.menuhor2 ul a{
        text-decoration: none;
    }
    #menuhor li.menuhor2: hover ul {
        /* Muestra las subsecciones cuando el ratón está encima de la sección
        “padre”*/
        list-style: none;
        display: inline;
        margin-left:-12%;
        margin-top:1.5%;
    }
    /* #menuhor li.menuhor2 a: hover{
        background-color: #29497b;
        color: #f90;
    }*/
    /* Fin MENÚ SUPERIOR*/

    /*Contenedor de la información*/
    div.contenido{
        /*background-color: #FFFFFF;*/
        width:100%;
        float:both;
        margin-left:0%;
    } /*Fin Contenedor de la información*/

    /*Div que contiene los SALTOS al INICIO DE PÁGINA Y A LA PAGINA
    PRINCIPAL*/
    div.saltosubir{
        visibility:hidden;
        /*visibility:visible;*/
        /*height:0%;*/
        width:20%;
        float:left;
        text-align:center;
        display:inline;
    }
}
```

```

div.saltoinicio{
    /*visibility:hidden;*/
    visibility:visible;
    /*height:0%;*/
    width:10%;
    text-align:center;
    display:inline;
}
/*Fin contenedor SALTOS*/

/*Div que contiene el ENLACE al MAPA WEB*/
div.enlacemapaweb{
    /*visibility:hidden;*/
    visibility:visible;
    /*height:0%;*/
    width:40%;
    float:left;
    text-align:center;
    display:inline;
} /*Fin contendor enlace al MAPA WEB*/

/*Div que contiene los rastros de MIGAS*/
div.migas{
    visibility:hidden;
    /*visibility:visible;*/
    /*height:0%;*/
    width:60%;
    float:right;
    text-align:center;
    display:inline;
} /*Fin contenedor de rastros de MIGAS*/

/*MAPA WEB*/
div.mapaweb{
    visibility:hidden;
    /* height:0%;Para hacer que desaparezca y no ocupe espacio */
    visibility:visible;
    text-align:left;
    margin-left:30%;
}

```

282 APÉNDICE D. EJEMPLO PROGRAMACIÓN MEDIANTE ESTILOS CSS

```
ul.mapaweb{
    list-style-type:none;
    width:80%;
}
ul.mapaweb li {
    text-decoration: none;
}
ul.mapaweb li a {
    text-decoration: none;
    color: black;
}
    ul.mapaweb li a:hover {
        background-color: #0099CC;
        color:eee;
    }
}
/*Fin MAPA WEB*/

/*Imágenes*/
img.centro{
    display: block;
    margin: auto;
}
img.derecha{
    text-align:right;
    float:right;
    margin-right:2%;
    padding-lef:2%;
} /*Imágenes*/

/*Tablas*/
table {
    border-collapse: collapse;
    border: 1px solid #03476F;
}
caption {
    text-align: center;
    font: bold ;
    text-transform: uppercase;
    background-color: #000080;
    color:#FFFFFF;
```

```
}  
td {  
    border: 1px dotted #03476F;  
    padding: .4em;  
}  
/*Fin de Tablas*/
```


Apéndice E

Distribución de los estilos web entre los usuarios

A continuación, se muestra la distribución de los estilos web para el conjunto de tareas a realizar por cada usuario. Este es el resultado del diseño de experimentos, a través del algoritmo de Fedorov [232], para conseguir balancear el conjunto de las recomendaciones web entre todos los usuarios.

En la tabla se indica la presencia (X) o ausencia (-) de las recomendaciones: “Ir a la página principal” (P1), “Ir arriba” (P2), “Mapa Web” (P3), “Señalar y hacer clic” (P4), “Imagen de fondo” (P5), “Migas” (P6), y tipo de menú (P7).

Usuario	Tarea	Estilo	Recomendaciones						
			P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
1	1	3	X	X	X	-	-	-	3
	2	4	X	X	-	-	-	X	2
	3	12	-	-	X	X	X	-	2
2	1	4	X	X	-	-	-	X	2
	2	12	-	-	X	X	X	-	2
	3	9	-	-	-	X	X	X	3
3	1	8	X	-	-	-	X	-	5
	2	5	-	-	-	-	-	-	1
	3	16	X	X	X	X	X	X	1

286 APÉNDICE E. DISTRIBUCIÓN DE LOS ESTILOS WEB ENTRE LOS USUARIOS

Usuario	Tarea	Estilo	Recomendaciones						
			P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
4	1	14	X	-	X	X	-	-	3
	2	10	-	-	X	-	-	X	2
	3	2	-	X	-	-	X	X	3
5	1	15	-	X	X	X	-	X	5
	2	16	X	X	X	X	X	X	1
	3	5	-	-	-	-	-	-	1
6	1	13	X	-	-	X	-	X	4
	2	4	X	X	-	-	-	X	2
	3	12	-	-	X	X	X	-	2
7	1	5	-	-	-	-	-	-	1
	2	8	X	-	-	-	X	-	5
	3	16	X	X	X	X	X	X	1
8	1	3	X	X	X	-	-	-	3
	2	11	X	X	-	X	X	-	2
	3	10	-	-	X	-	-	X	2
9	1	6	-	X	-	X	-	-	1
	2	3	X	X	X	-	-	-	3
	3	9	-	-	-	X	X	X	3
10	1	12	-	-	X	X	X	-	2
	2	9	-	-	-	X	X	X	3
	3	3	X	X	X	-	-	-	3
11	1	10	-	-	X	-	-	X	2
	2	11	X	X	-	X	X	-	2
	3	9	-	-	-	X	X	X	3
12	1	14	X	-	X	X	-	-	3
	2	2	-	X	-	-	X	X	3
	3	11	X	X	-	X	X	-	2
13	1	6	-	X	-	X	-	-	1
	2	7	X	-	X	-	X	X	1
	3	8	X	-	-	-	X	-	5
14	1	1	-	X	X	-	X	-	4
	2	13	X	-	-	X	-	X	4
	3	6	-	X	-	X	-	-	1

Usuario	Tarea	Estilo	Recomendaciones						
			P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
15	1	11	X	X	-	X	X	-	2
	2	10	-	-	X	-	-	X	2
	3	15	-	X	X	X	-	X	5
16	1	16	X	X	X	X	X	X	1
	2	13	X	-	-	X	-	X	4
	3	1	-	X	X	-	X	-	4
17	1	4	X	X	-	-	-	X	2
	2	14	X	-	X	X	-	-	3
	3	2	-	X	-	-	X	X	3
18	1	13	X	-	-	X	-	X	4
	2	1	-	X	X	-	X	-	4
	3	5	-	-	-	-	-	-	1
19	1	7	X	-	X	-	X	X	1
	2	8	X	-	-	-	X	-	5
	3	15	-	X	X	X	-	X	5
20	1	6	-	X	-	X	-	-	1
	2	15	-	X	X	X	-	X	5
	3	7	X	-	X	-	X	X	1

Apéndice F

Consentimiento informado



Yo, D./Dña....., con D.N.I.:....., en representación de y habiendo recibido información del proyecto MEUA, desarrollado por el Instituto de Biomecánica de Valencia, en el que voy a prestar mi colaboración, realizando actividades relativas a “ensayos para evaluar la usabilidad de las páginas web mediante el registro de señales fisiológicas y otros parámetros.”; y habiendo sido suficientemente informado/a de las tareas a realizar, condiciones de las mismas, objetivos del proyecto y uso que se le va a dar a la información obtenida en el transcurso de la colaboración por.....a quien he podido hacer preguntas sobre el mismo.

Comprendo que mi participación es voluntaria, y que puedo retirarme del estudio en cualquier momento. Por lo que doy libremente mi conformidad para:

SÍ	NO	
		Participar en el presente estudio.
		Registrar imágenes de mi participación en el estudio.
		Incluir los datos personales en un fichero automatizado propiedad del Instituto de Biomecánica de Valencia cuya finalidad es la localización de personas que colaboren en la realización de estudios desarrollados por el IBV. Los datos serán tratados conforme establece la Ley Orgánica 15/1999, de 13 de diciembre, de Protección de Datos de Carácter Personal.

Fdo:

Fdo:

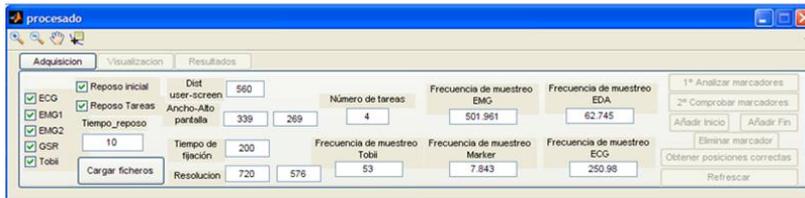
El participante, tutor o representante legal. La persona que ha informado.
Valencia, a , de de

Podrá consultar, modificar o cancelar sus datos poniéndose en contacto con el Servicio de Valoración de la Información de los Usuarios a través de los modos de contacto indicados en el pie de página.

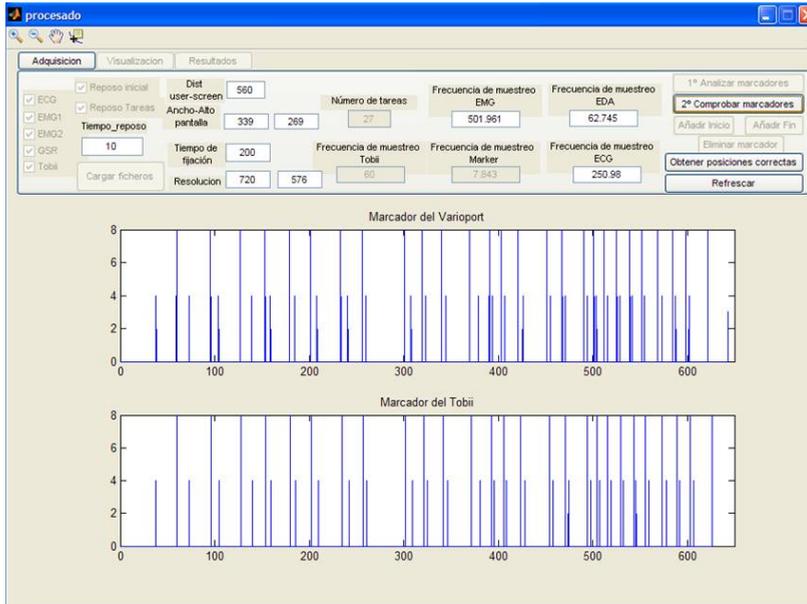
Apéndice G

Aplicación de análisis automático

A continuación, se muestran algunas capturas de pantalla de la aplicación informática desarrollada, en la cual se han implementado las metodologías y protocolos desarrollados en la Tesis. La aplicación permite el análisis automático de la respuesta fisiológica y la mirada por personal no especializado.

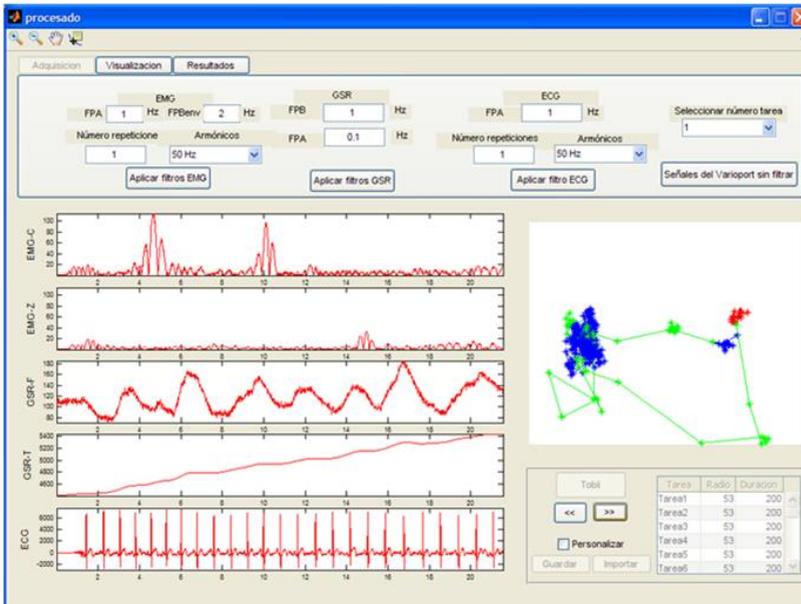


(a) Configuración inicial

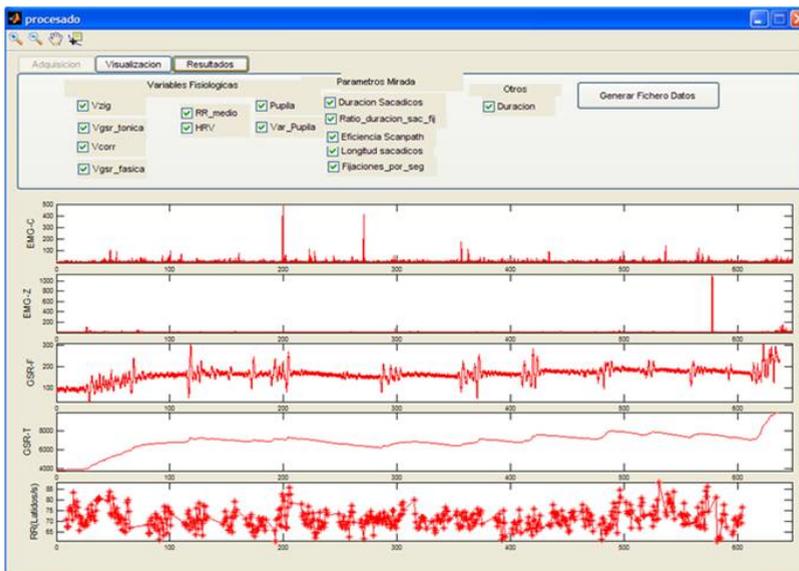


(b) Revisión de marcadores de las tareas

Figura G.1: Capturas de pantallas de la aplicación de análisis automático de la respuesta fisiológica y la estrategia visual. Selección y configuración de las señales y extracción de las tareas.



(a) Algoritmos de pre-procesado y filtrado



(b) Señales filtradas y selección de variables

Figura G.2: Capturas de pantallas de la aplicación de análisis automático de la respuesta fisiológica y la estrategia visual. Procesado de las señales y selección de las variables de interés.

The assessment of Human-Computer Interaction (HCI) must go beyond task performance and users' opinion. It should be complemented with the unconscious emotional reaction and the behaviour of users. The analyses of physiological response and eye-tracking are excellent approaches to get in depth on HCI and to shed light to this exciting field of research.

Jose Laparra Hernández



A la sombra de mi sombra
me estoy haciendo un sombrero;
sombrero de largas pajas
que he recogido del suelo.
Lo haré con el ala ancha,
que casi llegue hasta el cielo
pa' muchas veces no ver
las cosas que ver no quiero.

Manuel Muñoz Sánchez
(Manolo Chinato)