



Imagen de: Adrián Alonso Durán Coronado

Análisis cognitivos de carga mental e identificación del error humano para mejorar la experiencia de usuario

Cognitive analyses of mental workload and human error identification for the improvement of user experience

Adrián Alonso Durán-Coronado¹, Aidé Aracely Maldonado-Macías^{2*}, Manuel Alejandro Barajas-Bustillos², Juan Luis Hernández-Arellano¹

RESUMEN

Las personas, en ocasiones, pueden sentirse abrumadas al tratar de interactuar con la tecnología moderna. Ciertos productos de uso cotidiano cuentan con diseños deficientes, por lo que pueden provocar una experiencia insatisfactoria y frustración, produciéndose con ellas una carga mental en el usuario que pueda inducir al error. El uso de técnicas para la identificación del error humano y de la evaluación de carga mental en el diseño y evaluación de productos, puede proporcionar información relevante y útil, para mejorar la experiencia del usuario. El objetivo de este trabajo fue proponer una metodología para integrar la evaluación de carga mental y el análisis del error humano en el diseño de productos. Se evaluó la carga mental mediante la técnica perfil de carga de trabajo, Workload Profile (WP), y se utilizó una metodología de identificación del error humano, Task Analysis For Error Identification (TAFEI), en la configuración de audífonos inalámbricos. Diez usuarios participaron voluntariamente en el estudio; sus experiencias en el uso de los audífonos fueron videograbadas. Se utilizaron formularios para evaluar carga mental, y se identificaron errores humanos durante la etapa de configuración de los audífonos con el teléfono móvil. El método utilizado en este trabajo ofrece una mayor sensibilidad en la evaluación de la carga mental y permite determinar los recursos de atención que más se utilizan en la realización de la tarea. Se detectaron dos oportunidades de rediseño, una relacionada con la señal lumínica, y la otra para la identificación de las puntas para cada oído. A partir de los resultados de la aplicación de la metodología propuesta en este estudio, los diseñadores pueden mejorar la interacción entre las personas y los productos.

PALABRAS CLAVE: prevención de error, carga mental, experiencia de usuario, TAFEI, Workload Profile.

ABSTRACT

People can sometimes feel overwhelmed when trying to interact with modern technology. Some everyday products have deficient designs which can result in an unsatisfactory experience and even frustration. Additionally, they may produce a mental workload that can induce the user to make mistakes during their usage. The use of techniques for human error identification and mental load assessment in products evaluation and design can provide relevant and useful information to improve the user's experience. The objective of this work was to propose a methodology for integrating mental workload assessment and human error analysis into product design processes. In this work, mental workload was evaluated during the configuration of wireless earphones using the Workload Profile (WP) technique, and the Task Analysis for Error Identification (TAFEI). Ten users voluntarily participated in the study; their experiences during the use of mobile phone earphones were video recorded. Rating sheets were used to assess mental workload and human errors were identified during the earphones' setup stage with the mobile phone. The method employed for this research offers higher sensitivity in the assessment of mental workload. It also enables the identification of attention resources that were more frequently used during task completion. Two opportunities for redesign were identified. The first one is related to the light signal detection and the second one to the correct identification of ear tips. Conclusions and recommendations are given for designers to improve the interaction between people and products.

KEYWORDS: error prevention, mental workload, user experience, TAFEI, Workload Profile.

*Correspondencia: amaldona@uacj.mx / Fecha de recepción: 16 de mayo de 2018 / Fecha de aceptación: 11 de julio de 2019 / Fecha de publicación: 29 de julio de 2019

¹Universidad Autónoma de Cd. Juárez, Instituto de Arquitectura, Diseño y Arte. ²Universidad Autónoma de Cd. Juárez, Instituto de Ingeniería y Tecnología, av. del Charro, núm. 450 Nte., col. Partido Romero, Cd. Juárez, Chihuahua, México, C. P. 32310.

INTRODUCCIÓN

En ocasiones, la introducción de nuevas tecnologías provoca problemas y frustraciones a los usuarios en general, y particularmente en personas mayores (Cabero-Almenara y col., 2002; Márquez, 2002). Esto se debe a que, al comprar un producto nuevo, se generan expectativas acerca de su uso, en gran medida, por la publicidad y la mercadotecnia. Sin embargo, de acuerdo con Nielsen (1994), los usuarios pueden perder un promedio de 10 min diarios en problemas relacionados con el mal diseño de productos, por lo que el usuario puede sentirse frustrado. Esta frustración afecta la experiencia de uso de un producto, lo que puede terminar en una llamada al centro de atención a clientes, abandonar su uso o incluso dejar de consumir productos de la misma marca. Los sentimientos y percepciones originados de la interacción del usuario y los productos, se denomina experiencia de usuario (Albert y Tullis, 2013), y es de elevada importancia en el diseño o mejora de todo tipo de productos.

Uno de los factores a considerar en el diseño de nuevos productos, con el fin de mejorar la experiencia de usuario, es la funcionalidad; la cual refleja la percepción del usuario de cómo un producto tiene la capacidad para cumplir con su propósito (Homburg y col., 2015). En el caso de productos con una funcionalidad limitada, que generan errores y frustración en el usuario, se recomienda realizar evaluaciones pertinentes del uso del producto, con el objetivo de prevenirlos (Nielsen, 1994).

En este sentido, a partir de las opiniones y experiencias de un grupo de usuarios es posible detectar problemas y deficiencias en la interacción humano-artefacto. El análisis de esta interacción ofrece oportunidades para mejorar, principalmente en aspectos cognitivos y de configuración. Debido a lo anterior, la mejora de la experiencia de usuario, por medio de análisis cognitivos, como la evaluación de la carga mental y el análisis de error humano, se está incorporando poco a poco. Al respecto, Bustamante y col. (2018), hicieron

uso del Índice de Carga de la Tarea (NASA-TLX, por sus siglas en inglés: NASA- Task Load Index) para evaluar la carga mental, y del enfoque sistemático de predicción y reducción de errores humanos (SHERPA, por sus siglas en inglés: Systematic Human Error Reduction and Prediction Approach) para el análisis preventivo del error humano.

Previo a la realización de cualquier análisis cognitivo, el análisis jerárquico de tareas (HTA, por sus siglas en inglés: Hierarchical Task Analysis), es el método más generalizado que aporta información esencial para iniciar una evaluación de carga mental o de error humano (Stanton y col., 2013).

El HTA es una herramienta que brinda al analista una visión amplia acerca del funcionamiento de un determinado proceso, e implica realizar una jerarquización de los objetivos, subobjetivos, operaciones y planes de la tarea, a un nivel de detalle deseado (Annett, 2004), y que originalmente fue desarrollado como un medio para determinar los requisitos de capacitación (Stanton, 2006).

En cuanto al error humano, este se presenta cuando una secuencia planeada de actividades mentales o físicas fallan en alcanzar cierto resultado, siempre y cuando dichas fallas no sean atribuibles al azar (Forsythe y col., 2014), por lo que la evaluación del error es una tarea importante en el diseño de productos. Uno de los métodos más utilizados para la identificación del error humano es el Análisis de Tareas para la Identificación del Error (TAFEI, por sus siglas en inglés: Task Analysis For Error Identification). Este método permite identificar errores en el uso de dispositivos mediante el modelado de la interacción bajo análisis (Stanton y Baber, 2005). TAFEI supone que las acciones están limitadas por el estado del producto en cualquier punto particular de la interacción, y que el dispositivo ofrece información al usuario sobre su funcionalidad. Por lo tanto, la interacción entre usuarios y dispositivos progresa a través de una secuencia de estados.

En cada estado, el usuario selecciona la acción más relevante para su objetivo, basado en el estado total del sistema (Baber y Stanton, 2004).

La carga mental se define en función de la diferencia entre la capacidad del individuo y las demandas de la tarea (Rubio, 2002). Existen diversas técnicas para evaluar la carga mental, de acuerdo con Milán y col. (2015), tres son las más populares: NASA-TLX, la Técnica Subjetiva de Evaluación de Carga de Trabajo (SWAT, por sus siglas en inglés: Subjective Workload Assessment Technique) y el Perfil de Carga de Trabajo (WP, por sus siglas en inglés: Workload Profile).

La técnica WP fue propuesta por Tsang y Velazquez (1996). Está basada en el supuesto

de que la carga mental puede definirse por las dimensiones descritas en la teoría de recursos de atención múltiple (MRT, por sus siglas en inglés: Multiple Resource Theory) de Wickens (Bommer y Fendley, 2018), y a diferencia de NASA-TLX y SWAT, se hace en una sola ejecución, posterior a la realización de la tarea, por lo que es recomendado para evaluaciones rápidas (Milán y col., 2015). El WP comprende las mismas dimensiones que el MRT, las cuales son listadas y explicadas en la Tabla 1 (Tsang y Velazquez, 1996).

Es recomendable, de acuerdo con Stanton y col. (2013), que antes de aplicar la técnica WP se desarrolle un HTA, para así determinar los elementos de la tarea a analizar. Una vez determinados dichos elementos, los partici-

■ **Tabla 1. Dimensiones que se consideran en MRT.**
Table 1. Dimensions considered in MRT.

Etapas de procesamiento	
Perceptual/cognitivo:	Son los recursos mentales relacionados a la atención, necesarios para realizar actividades, que pueden ser: detectar, reconocer e identificar objetos; recordar y resolver problemas y la toma de decisiones.
Respuesta	Estos son los recursos de atención necesarios para la selección y ejecución de la respuesta.
Código de procesamiento	
Espacial	Se refiere a la naturaleza espacial, por ejemplo, la conducción requiere prestar atención a la posición del automóvil, la distancia entre la posición actual del auto móvil y la siguiente señal de alto, la dirección geográfica a la que se dirige el automóvil, entre otros.
Verbal	Se refiere a las tareas que son de naturaleza verbal. Por ejemplo, la lectura implica principalmente el procesamiento de materiales verbales y lingüísticos.
Entrada	
Visual	Algunas tareas son ejecutadas en base a información visual recibida. Por ejemplo, jugar al baloncesto requiere un control visual de la ubicación física y la velocidad del balón.
Auditiva	Estas tareas se realizan en base a información auditiva. Por ejemplo, escuchar a la persona en el otro extremo del teléfono es una tarea que requiere atención auditiva. Escuchar música es otro ejemplo.
Salida	
Manual	Algunas tareas requieren una atención considerable de recursos mentales para producir una respuesta manual, como puede ser el teclear o tocar un piano.
Verbal	Otras tareas requieren respuestas del habla en su lugar. Por ejemplo, entablar una conversación requiere atención para producir las respuestas del discurso.

pantes deben ser instruidos en los principios de la MRT. Cuando estos principios hayan sido comprendidos, se procede a la realización de la tarea, y finalmente al llenado de los formatos de evaluación o también denominada, proforma WP. Es importante señalar que, hasta el momento, se carece de una unidad de medida de carga mental, además de un método estandarizado para su evaluación. Por ello, la técnica de WP, a pesar de ser de las técnicas subjetivas de evaluación más recientes, y tener un fundamento en la teoría de MRT, solo determina si la tarea presenta carga mental para el usuario, así como las fuentes principales de dicha carga.

El objetivo de este trabajo fue proponer y validar una metodología que hace uso de análisis cognitivos para integrar la evaluación de la carga mental y el análisis del error humano en el diseño de productos, para así contribuir a detectar deficiencias de diseño y mejorar la experiencia de usuario, mediante el desarrollo de un caso de estudio.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales

Se trabajó con audífonos inalámbricos (marca JBL® Reflect, Harman, USA), diseñados para escuchar música con fines de entretenimiento, sobre todo al realizar actividades deportivas (JBL, s/f), en lo particular, este modelo de audífonos utiliza tecnología bluetooth®, la cual, es una especificación industrial que permite la conexión inalámbrica entre diferentes dispositivos electrónicos, como un teléfono celular o una tableta electrónica, mediante un enlace de radiofrecuencia (Haar-tsen, 1998).

En el presente estudio, se usaron los teléfonos celulares, propiedad de los 10 participantes, quienes eran estudiantes universitarios de entre 18 a 25 años, que se incluyeron en el estudio de manera voluntaria, al mostrar una buena habilidad en el uso del teléfono para escuchar música. Los teléfonos eran de diferentes modelos y de dos sistemas operativos

diferentes (Android™ e iOS™). Sin embargo, fue posible desarrollar el HTA apropiadamente, ya que la mayoría de los participantes pudieron realizar las subtareas sin inconvenientes, y solo para uno de los participantes la subtaska “sincronizar los audífonos” fue omitida por problemas de incompatibilidad con los audífonos.

Se utilizó un equipo de cómputo marca DELL, modelo Inspiron N4050, hecho en China, con Microsoft Office™ 2016 para la captura y validación de los resultados de este trabajo. Así mismo, se empleó una cámara videogradora Polaroid T831 para llevar registro de los participantes y realizar el análisis de la tarea.

Metodología

La evaluación de los videos se hizo por dos especialistas en diseño, de manera simultánea, utilizando como indicadores de usabilidad cuantificables propuestos por Nielsen (2001), el tiempo que requiere una tarea (registrando minutos y segundos), la tasa de error (tomando en cuenta las tareas completadas con éxito en el primer intento), y la satisfacción subjetiva de los usuarios. Los evaluadores realizaron una revisión simultánea y de forma consensada para asegurar la consistencia del análisis. Para fines de este trabajo, la interacción analizada del participante y los audífonos inalámbricos se delimita a la colocación de las puntas para los oídos, el encendido y la sincronización con un teléfono móvil. Se excluye el estudio de tareas, como escuchar música, subir y bajar el volumen de los audífonos, contestar una llamada, apagar los audífonos y poner a cargar los audífonos.

El diseño que se presenta es cuantitativo, con un diseño transversal. La metodología de este trabajo fue realizada en 3 etapas, las cuales son descritas a continuación:

Etapas 1. Elección de la tarea y análisis jerárquico de tareas (HTA). En esta etapa, se llevó a cabo una serie de entrevistas con los 10 participantes, para determinar aquella ta-

rea que resultara la más complicada de realizar en el uso de sus propios teléfonos móviles. Se les pidió ejecutar la tarea seleccionada por la mayoría de los participantes, y su interacción fue video-grabada y observada por un analista.

A partir de este análisis, se procede al desarrollo del HTA, el cual precede cualquier análisis cognitivo, como en este caso TAFEI y WP. Para su elaboración se utilizó la metodología propuesta por Stanton y col. (2013), detallada en la Tabla 2.

Etapa 2. Análisis para la identificación del error humano. Se aplicó el método TAFEI para identificar posibles errores humanos. A partir del desarrollo del HTA mostrado anteriormente, se analizan todos los posibles estados de la interacción humano-dispositivo y se representan en forma gráfica a través de los diagramas de estado-espacio (SSD, por sus siglas en inglés: State-Space Diagrams). Los SSD, como ya se mencionó, son representaciones gráficas del comportamiento del dispositivo o producto en interacción con el usuario. Cada uno de ellos, representa uno de los posibles estados de la interacción humano-dispositivo durante la tarea, enunciando cada uno de ellos desde el inicial hasta el final (Mohammadian y col., 2012).

Una vez mostrados todos estos, son analizados dentro de la matriz de transición, en la cual pueden estudiar las transiciones de un estado a otro, y se adoptan tres enfoques:

A. Si la transición dada es imposible, se pone un guión (-) en la celda respectiva.

B. Si una transición dada es posible y deseable (es decir, el usuario se dirige hacia el objetivo), es una transición legal que se representa con una letra “L” en la matriz.

C. Si una transición dada es posible pero indeseable (desviación del acto deseado), es una transición ilegal que se muestra en la matriz representada con una letra “I”.

Una vez analizadas todas las posibles intersecciones de un estado a otro del dispositivo en la matriz dada, el analista debe dirigir su atención principalmente hacia aquellos casos en donde se presenta una transición ilegal (I). Este análisis resulta útil y conveniente, ya que es posible desarrollar soluciones de diseño para reducir o eliminar el error humano en la interacción humano-dispositivo.

Etapa 3. Análisis de la carga mental. Por medio de la evaluación de carga mental se pretende determinar cuáles tareas o subtareas pueden representar mayor dificultad en el logro de un objetivo dado en la interacción con el producto; asimismo, determinar cuáles pueden ser las principales fuentes de dicha carga. Para evaluar la carga mental, se utilizó la técnica WP. El método requiere del conocimiento de las dimensiones de carga mental derivadas de la MRT, por lo que se instruyó a los participantes sobre ellas, y su descripción para realizar el análisis. Se utilizaron las subtareas propuestas en el HTA de la tarea en estudio. Algunas fueron descartadas porque no son desarrolladas por el usuario. En la Tabla 3 se muestra el formato en blanco de WP usado.

Los participantes disponían de la definición de cada dimensión en el momento de la clasificación. En cada celda del formato, los participantes proporcionaron un número entre 0 y 1 para representar la proporción de recursos atencionales, utilizados en una dimensión particular para la sub-tarea dada. Una calificación de “0” significa que la tarea no implica ninguna exigencia sobre la dimensión evaluada, mientras que una calificación de “1” significa que la tarea requiere de la máxima atención del mismo recurso.

La obtención de la carga mental de cada sub-tarea se obtiene al sumar la valoración de cada dimensión, esto es representado por la Ecuación 1.

$$C_t = \sum_i^8 di$$

■ **Tabla 2. Pasos para el desarrollo del HTA.**
Table 2. Steps for the development of the HTA.

Paso	Nombre	Descripción
1	Definir la tarea para el análisis	Además de identificar la tarea que se está analizando, también debe definirse el propósito de realizar el estudio.
2	Proceso de recolección de datos	Se deben obtener datos específicos sobre la tarea. Deberán recopilarse datos sobre los pasos de la tarea, la tecnología utilizada, la interacción entre el hombre, la máquina e individuos del equipo de trabajo, la toma de decisiones y las limitaciones de la tarea.
3	Determinar el objetivo general de la tarea	El objetivo general de la tarea analizada deberá especificarse primero en la parte superior de la jerarquía.
4	Determinar subobjetivos de la tarea	Implica el dividir el objetivo general en subobjetivos significativos (generalmente 4 ó 5), que juntos forman las tareas requeridas para lograr el objetivo general.
5	Descomposición de subobjetivos	Se deben desglosar los subobjetivos identificados en otros subobjetivos y operaciones, según el número de pasos de la tarea en cuestión. Este proceso debe continuar hasta que se alcance una operación apropiada. El nivel inferior de cualquier rama en un HTA debe ser siempre una operación. Mientras que todo lo que está por encima de una operación ayuda a especificar metas u objetivos de la tarea, las operaciones realmente dicen lo que hay que hacer. Por lo tanto, las operaciones son acciones que deben realizarse para alcanzar el objetivo asociado.
6	Análisis de planes	Una vez que se hayan descrito todos los subobjetivos y las operaciones en su totalidad, es necesario añadir los planes. Los planes dictan cómo se alcanzan las metas. Un plan simple sería: hacer 1, después 2 y después 3. Los planes no tienen que ser lineales y existen en otras formas de planes.

Dónde:

C_i es la carga mental de la subtarea.

d_i es la valoración que cada participante asigna a las dimensiones carga mental del formato de evaluación.

Mientras \sum_i^8 es la sumatoria de los ítems 1 al 8.

RESULTADOS

Los resultados se muestran para cada una de las etapas propuestas en la metodología.

Etapas 1. Elección de la tarea y análisis jerárquico de tareas. La tarea más complicada de realizar, de acuerdo con la observación de la videograbación y la apreciación expresada por los participantes se muestra a través del de-

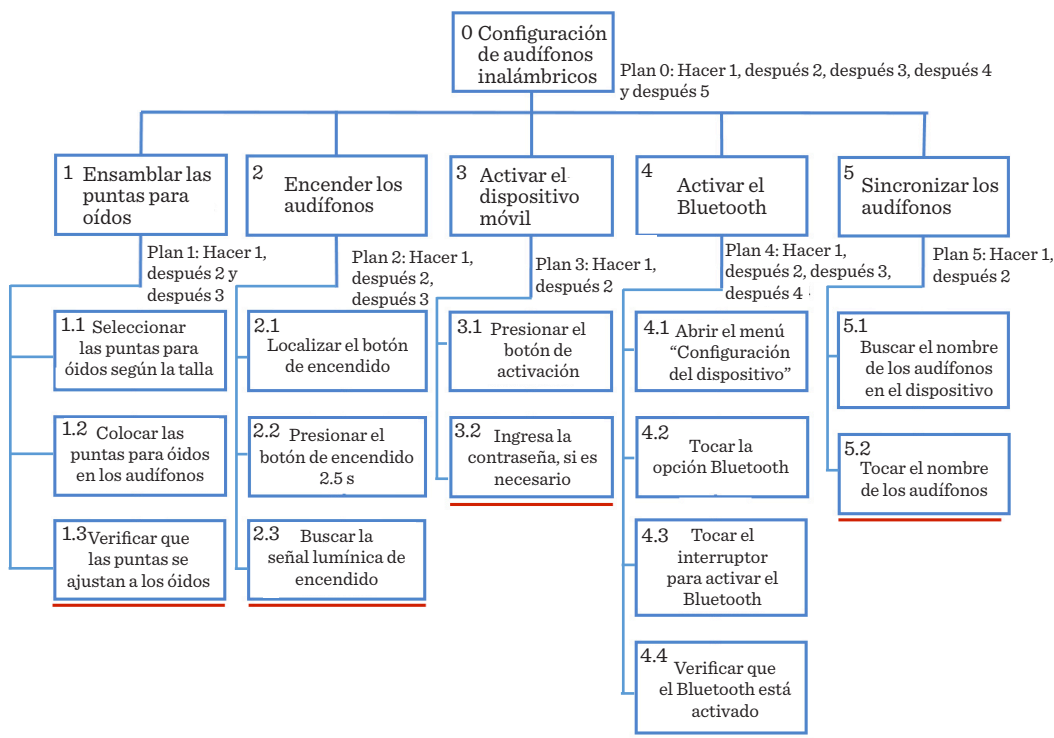
sarrollo del HTA (Figura 1), donde se tomaron en cuenta los siguientes pasos:

1. Definición de la tarea para el análisis: la tarea que se determinó, para realizar este trabajo fue la configuración de audífonos inalámbricos con el teléfono móvil en su modalidad de bluetooth®, ya que los 10 participantes del estudio experimentaron dificultades para realizar la configuración.

2. Proceso de recolección de datos: los datos fueron recolectados mediante videograbaciones de la tarea realizada por los 10 participantes, y evaluados por dos analistas en forma independiente, cuyos criterios coincidieron.

■ **Tabla 3. Formato de evaluación, proforma, para WP utilizado en este trabajo.**
Table 3. WP pro-forma evaluation used in this work.

Dimensiones de la carga mental								
Tarea	Etapa de procesamiento		Código de procesamiento		Entrada		Salida	
	Perceptual/ cognitivo	Respuesta	Espacial	Verbal	Visual	Auditiva	Manual	Verbal
	d1	d2	d3	d4	d5	d6	d7	d8
1.1. Seleccionar las puntas para oídos según la talla.								
1.2. Colocar las puntas para oídos en los audífonos.								
1.3. Verificar que las puntas se ajusten a los oídos.								
2.1. Localizar el botón de encendido.								
2.2. Presionar el botón de encendido 2.5 s.								
2.3. Buscar la señal lumínica de encendido.								
3.1. Presionar el botón de activación.								
3.2. Ingresar la contraseña, si es necesario.								
4.1. Abrir el menú “Configuración” del dispositivo.								
4.2. Tocar la opción “bluetooth”.								
4.3. Tocar el interruptor para activar el “bluetooth”.								
4.4. Verificar que el “bluetooth” está activado.								
5.1. Buscar el nombre de los audífonos en el dispositivo.								
5.2. Tocar el nombre de los audífonos.								



■ **Figura 1. HTA desarrollado para este caso de estudio.**
Figure 1. HTA developed for this case study.

3. Determinar el objetivo general de la tarea: el objetivo principal de análisis fue: configuración de audífonos inalámbricos. Esto es representado en el primer nivel, subíndice 0, del HTA (Figura 1).

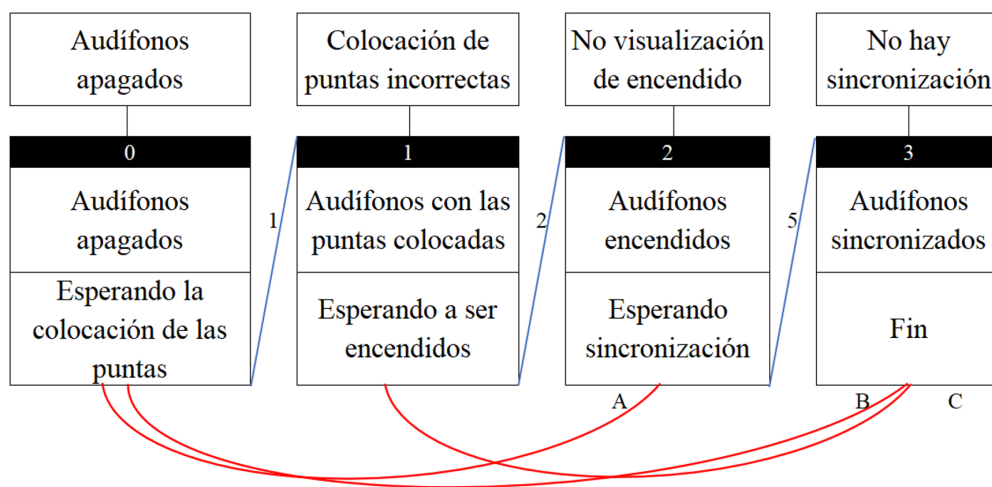
4. Determinación de subobjetivos de la tarea: los subobjetivos planteados para la realización del HTA son, ensamblar las puntas para oído, encender los audífonos, activar el dispositivo móvil, activar el bluetooth y sincronizar los audífonos. Lo anterior es mostrado con los índices 1, 2, 3, 4 y 5 (Figura 1).

5. Descomposición de subobjetivos: cada uno de los subobjetivos fue descompuesto en elementos simples que detallan el proceso de la tarea, y son mostrados en la Figura 1 como objetivos del tercer nivel jerárquico.

6. Análisis de planes: se utilizó un plan lineal y selectivo para desplegar 3 niveles jerárquicos para las subtareas. Las subtareas 1, de ensamblar las puntas para el oído, y la 4, acti-

var el bluetooth®, son aquellas que se observaron como las más complejas.

Etapa 2. Análisis para la identificación del error humano. Partiendo del HTA, se desarrollaron los SSD (Figura 2). En este caso, se tuvieron 4 estados distintos, partiendo desde el estado inicial o estado 0: audífonos apagados, audífonos con las puntas colocadas, audífonos encendidos, audífonos sincronizados. La transición entre estados se da por medio de las tareas 1, 2 y 5 del HTA (representadas por una línea azul en la Figura 2). Posteriormente, se desarrolló la matriz de transición (Tabla 4), en la cual, se pueden observar 3 situaciones, donde se puede generar una transición ilegal (identificadas con líneas rojas en la Figura 2 y con las letras A, B, y C en la Tabla 4). Estas situaciones son las siguientes: la transición del estado 0 (audífonos apagados) al 2 (puntas para oídos colocadas), e identificada con la letra A, en la Figura 2 y la Tabla 4; se presenta, ya que los usuarios son incapaces de reconocer fácilmente las puntas correctas para



■ Figura 2. Diagramas de espacio-tiempo para el TAFEI.
Figure 2. Space-time diagrams for the TAFEI.

■ Tabla 4. Matriz de transición.
Table 4. Transition matrix.

Desde el estado	Al estado			
	0	1	2	3
0	-	L	I (A)	I (B)
1		-	L	I (C)
2			-	L
3				-

cada oído. El diseño de las puntas para los oídos cuenta con una letra en relieve que ayuda a identificar cada lado de la punta y su correspondencia a cada oído (Figura 3). Otros errores identificados como transiciones ilegales se presentan en la transición del estado 0 al 3, representado con la letra B en la Figura 2 y la Tabla 4, así como la transición del estado 1 al 3, representado por la letra C, en la Figura 2 y Tabla 4. Dichos errores, se presentan debido a que en el diseño de los audífonos en estudio, la señal lumínica de encendido no es lo suficientemente visible para de-

tectarla, y el usuario pasa por alto esta condición, por lo que la sincronización entre el teléfono móvil y los audífonos es imposible.

En la Figura 4 se muestra la ubicación de la señal lumínica de encendido en el diseño estudiado.

Etapa 3. Análisis de la carga mental. En la Tabla 5 se muestra el resultado del análisis de carga mental efectuado por WP. Esta tabla presenta resultados correspondientes a las sub-tareas numeradas en el HTA, que se muestra en la Figura 1. Dicha tabla fue elaborada en base a la sumatoria final por tarea de la evaluación de la carga mental realizada por cada uno de los participantes, e indica que las 6 sub-tareas que más carga mental presentaron, basándose en el promedio de las sub-tareas individuales fueron: sub-tarea 1.1. “Seleccionar las puntas para oídos según la talla” (con un promedio de carga mental de 1.35); sub-tarea 1.2. “Colocar las puntas para oídos en los audífonos” (con un promedio de 1.61); y sub-tarea 1.3. “Verificar que las puntas se ajusten a los oídos” (con un promedio de 1.79).

El análisis de las videgrabaciones mostró que los participantes se confundían al tratar de



■ Figura 3. Letra en relieve que identifica el lado de la punta.

Figure 3. A relief letter identifying the side of the tip.



■ Figura 4. Posición de la señal lumínica de encendido en los audífonos inalámbricos.

Figure 4. Position of the light signal on the wireless earphones.

elegir las puntas para los oídos correctas, ya que fallaron al colocarlas. Este error, se debe a que, los caracteres alfabéticos utilizados para identificar la talla y la lateralidad, de cada una de las puntas para los oídos fueron indetectables para ellos. Al notar los participantes que las puntas no se ajustaban a sus oídos, algunos procedían a realizar los cambios necesarios, y algunos otros optaban continuar su uso sin realizar ningún cambio.

En cuanto a la detección de la señal lumínica, se observó que todos los participantes tuvieron problemas con la subtarea 2.2. “Presionar el botón de encendido 2.5 s” (1.41), ya que presionaban el botón por menor tiempo del requerido, y daban por hecho que los audífonos estaban encendidos. Algunos de los participantes descubrieron casualmente la señal lumínica y confirmaron que los audífonos estaban encendidos, sin embargo, la mayoría de los participantes no lo hizo, por lo que se tenía que repetir la ejecución de la tarea hasta lograrlo. La subtarea 3.1 “Presionar el botón de activación” (1.54), presentó carga mental por la dificultad para identificar el lugar del botón. La subtarea 2.3. “Buscar la señal lumínica de encendido” registró el promedio

más elevado de carga mental con 2.09, ya que el análisis reveló que todos los participantes presentaron problemas para localizar la señal de encendido, situación que muestra una oportunidad de mejora en la experiencia del usuario.

DISCUSIÓN

Aunque la literatura acerca de WP y TAFEI es escasa, se ha encontrado que estos métodos son usados en diversas áreas. Por ejemplo, TAFEI se ha utilizado en la evaluación de una amplia variedad de aplicaciones, como procesadores de texto, cajeros automáticos, video-grabadoras, productos para automóviles, un camión de succión de drenaje, máquinas expendedoras de boletos (Stanton y Barber, 2005), en el uso de máquinas de rayos X (Alferez-Padron y col., 2017), en máquinas para moler carne (Mohammadian y col., 2012), robots ortopédicos (Kuang y col., 2009), entre otros. De acuerdo con Glendon y col. (2016), la técnica TAFEI puede proporcionar una imagen útil de las interacciones entre los operadores humanos y los componentes de la máquina, dentro de un sistema con respecto a posibles acciones y errores. El uso de TAFEI para evaluar una máquina ex-

■ **Tabla 5. Resultado del análisis de carga mental del Workload Profile.**
Table 5. Workload Profile mental load analysis result.

	Participante										Total	Promedio	Desviación estándar
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10			
1.1. Seleccionar las puntas para oídos según la talla.	1.6	0.4	0.5	1.5	3.6	2.0	1.1	1.0	1.7	0.1	13.5	1.35	1.00
1.2. Colocar las puntas para oídos en los audífonos.	1.9	0.7	0.8	1.6	3.5	2.7	1.8	1.1	1.7	0.3	16.1	1.61	0.96
1.3. Verificar que las puntas se ajusten a los oídos.	4.4	2.9	1.2	0.8	4.0	1.3	0.8	0.8	0.4	1.3	17.9	1.79	1.44
2.1. Localizar el botón de encendido.	1.2	0.4	0.9	0.0	3.7	1.8	0.7	1.1	0.2	0.5	10.5	1.05	1.07
2.2. Presionar el botón de encendido 2.5 s.	0.0	0.5	0.6	0.0	3.5	2.5	1.3	2.1	2.2	1.4	14.1	1.41	1.16
2.3. Buscar la señal lumínica de encendido.	0.6	3.5	6.1	0.0	5.2	3.3	0.3	1.9	0.0	0.0	20.9	2.09	2.30
3.1. Presionar el botón de activación.	0.9	0.4	6.5	1.1	3.8	0.9	0.4	0.8	0.3	0.3	15.4	1.54	2.03
3.2. Ingresar la contraseña, si es necesario.	0.0	0.0	0.0	0.4	3.4	0.0	0.9	0.5	0.3	0.2	5.7	0.57	1.04
4.1. Abrir el menú “Configuración” del dispositivo.	0.5	0.5	0.7	0.9	2.6	1.7	0.4	0.5	0.7	0.3	8.8	0.88	0.72
4.2. Tocar la opción “bluetooth”.	0.5	0.0	0.5	0.7	2.1	1.0	0.4	0.3	0.4	0.3	6.2	0.62	0.58
4.3. Tocar el interruptor para activar el “bluetooth”.	0.5	0.5	0.5	0.0	2.9	0.4	0.4	0.3	0.4	0.3	6.2	0.62	0.81
4.4. Verificar que el “bluetooth” está activado.	0.2	0.1	0.3	0.0	3.2	0.3	0.1	0.3	0.0	0.0	4.5	0.45	0.97
5.1. Buscar el nombre de los audífonos en el dispositivo.	0.2	0.8	6.5	0.3	2.7	0.8	0.1	0.2	0.8	0.2	12.6	1.26	1.99
5.2. Tocar el nombre de los audífonos.	0.8	0.5	0.0	0.0	3.2	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	6.1	0.61	0.94

pendedora de boletos, utilizada en el metro de Londres, permitió realizar la evaluación en solo 3.5 h, en comparación con el tiempo de observación directa de 31.5 h de acuerdo con Stanton y Baber (2005).

En el presente trabajo, se corroboraron las ventajas del uso de TAFEI para evaluar la facilidad de uso de un equipo, en este caso el teléfono móvil. Esta técnica está diseñada para detectar con facilidad el número de transiciones ilegales que realiza el usuario, al observar la forma en la que opera o sigue las instrucciones de uso del artículo de interés (Stanton y col., 2013). En el caso particular de los audífonos analizados, se detectó que hay tres posibles situaciones que pueden generar un error en este caso de estudio. El diseño parece presentar deficiencias para que el usuario identifique correctamente las puntas para cada oído, además, el tamaño de la señal lumínica y su ubicación son difíciles de detectar por el usuario. En el caso del análisis de carga mental, realizado por medio de WP, se encontró que, en aquellas subtareas con una mayor carga mental, se tenían elementos en común, como son la correcta colocación de las puntas y el correcto encendido de los audífonos.

Para el caso de WP, Tsang y Velazquez (1996), informaron que la técnica WP logró un nivel similar de validez concurrente y confiabilidad test-retest, con respecto a las otras técnicas de evaluación de carga de trabajo probadas. Además, WP también demostró un nivel de sensibilidad a las diferentes demandas de tareas. En un estudio realizado por Rubio y col. (2001), se compararon las técnicas WP, NASA-TLX y SWAT, en términos de intrusión, diagnóstico, sensibilidad, validez (convergente y concurrente) y aceptabilidad. Y se encontró que la técnica WP posee una sensibilidad más alta que las técnicas de NASA-TLX y SWAT. Por otra parte, WP es rápido y fácil de usar, y requiere una formación mínima del analista (Stanton y col., 2013). Además, como la técnica se aplica después del ensayo, puede aplicarse en entornos reales.

Durante la evaluación de la carga mental de tareas, el WP proporciona los valores promedio de carga a partir de solo 8 dimensiones o fuentes posibles. Este número reducido de valores, podría interpretarse como relativamente poco significativos para declarar la presencia de carga mental. Sin embargo, en algunos estudios, como el presente, en el que el propósito de la evaluación se enfoca principalmente en determinar aquellos elementos o subtareas cuyos valores de carga aportan más a la carga mental total de la tarea, dando origen a errores humanos en el uso de dispositivos, el WP se vuelve una herramienta muy útil.

Entre las ventajas encontradas en la utilización de estos métodos en conjunto, está el contar con un análisis más completo de las tareas y de los elementos que pueden ser fuente de carga mental de trabajo, y con ello, una mayor comprensión de la posible ocurrencia del error. Así, en este análisis, se puede observar que los dos errores analizados en TAFEI, como lo son la errónea identificación de las puntas para los oídos y la falta de detección de la señal lumínica, se presentan en dos de las subtareas que registraron mayor carga mental de trabajo.

CONCLUSIONES

La implementación de la metodología propuesta en este trabajo, para mejorar la experiencia de usuario, por medio de análisis cognitivos permitió detectar aspectos de diseño o empaque que pueden causar cierta confusión en el usuario, así como aquellas acciones que ocasionan una mayor carga mental, que podrían desalentar el consumo de más productos de la marca. Esta técnica puede ser de utilidad para aquellos diseñadores de productos en donde la interacción humano-artefacto sea relevante, desde el punto de vista de eficiencia, *comfort* y seguridad. Incluso, puede contribuir a marcar la diferencia como ventaja competitiva entre una marca y otra, no sólo al brindar una mejor experiencia de usuario, sino también una experiencia más segura, confortable y confiable en el uso de

productos. A partir de estos análisis, es posible recomendar cambios en el diseño del producto, de tal forma que se facilite la identificación correcta de las puntas para cada oído a través de una codificación por color o ubicación dentro del empaque. En base a lo anterior, se puede considerar que realizar un análisis de los errores potenciales, así como determinar la carga mental generada en el uso de los productos, proporciona valiosa información, que puede ser utilizada al momento de diseñarlos y evaluarlos. De esta manera, se puede asegurar su correcta utilización, e incrementar su nivel de usabilidad,

y entonces poder reducir el nivel de frustración de los usuarios. Si bien, por medio de este trabajo se presenta una metodología para la evaluación de los posibles elementos que afectan la experiencia de usuario de los productos, es necesario realizar más estudios que involucren activamente a los diseñadores de productos, también es recomendable que se utilicen otros métodos de análisis de error humano y de carga mental, para que el diseñador aplique el que más se adapte a sus necesidades.

REFERENCIAS

- Albert, W. and Tullis, T. (2013). *Measuring the User Experience: Collecting, Analyzing, and Presenting Usability Metrics*. United States of America: Newnes. 320 Pp.
- Alferez-Padron, C., Maldonado-Macías, A. A., García-Alcaraz, J., Avelar-Sosa, L., and Realyvasquez-Vargas, A. (2017). Workload assessment and human error identification during the task of taking a plain abdominal radiograph: A case study. In C. Baldwin (Ed.), *Advances in Neuroergonomics and Cognitive Engineering* (pp. 108-119). United States of America: Springer.
- Annett, J. (2004). Hierarchical Task Analysis (HTA). In N. Stanton, A. Hedge, K. Brookhuis, E. Salas, and H. Hendrick (Eds.), *Handbook of Human Factors and Ergonomics Methods* (pp. 329-337). United States of America: CRC Press.
- Baber, C. and Stanton, N. (2004). Task Analysis for Error Identification. In N. Stanton, A. Hedge, K. Brookhuis, E. Salas, and H. Hendrick (Eds.), *Handbook of Human Factors and Ergonomics Methods* (pp. 378-389). United States of America: CRC Press.
- Bommer, S. C. and Fendley, M. (2018). A theoretical framework for evaluating mental workload resources in human systems design for manufacturing operations. *International Journal of Industrial Ergonomics*. 63: 7-17.
- Bustamante, N. G., Maldonado-Macías, A. A., Durán, A. A., Ortiz-Nicolás, J. C., and Quiñones, A. R. (2018). Usability Test and Cognitive Analyses during the task of using wireless earphones. In J. Hernández-Arellano, A. Maldonado-Macías, J. Castillo-Martínez, and P. Peinado-Coronado (Eds.), *Handbook of Research on Ergonomics and Product Design* (pp. 241-263). Hershey, PA: IGI Global. 446 Pp.
- Cabero-Almenara, J., Tena, R. R. y Osuna, J. B. (2002). Las personas mayores y las nuevas tecnologías: Una acción en la sociedad de la información. *Innovación educativa*. (12): 319-337.
- Forsythe, C., Liao, H., Trumbo, M. C. S., and Cardona-Rivera, R. E. (2014). *Cognitive Neuroscience of Human Systems: Work and Everyday Life*. United States of America: CRC Press. 316 Pp.
- Glendon, A. I., Clarke, S., and McKenna, E. (2016). *Human Safety and Risk Management* (Second Edition). United States of America: CRC Press. 528 Pp.
- Haartsen, J. (1998). Bluetooth-The universal radio interface for ad hoc, wireless connectivity. *Ericsson review*. 3(1): 110-117.
- Homburg, C., Schwemmler, M., and Kuehnl, C. (2015). New product design: concept, measurement, and consequences. *Journal of Marketing*. 79(3): 41-56.
- JBL (s/f). Reflect BT. Workout-ready, Bluetooth®-enabled, in-ear headphones. [En línea]. Disponible en: https://www.jbl.com/on/demandware.static/-/Sites-masterCatalog_Harman/default/dw16fbdae7/pdfs/ReflectBT_SS_EN.pdf. Fecha de consulta: 12 de noviembre de 2017.
- Kuang, S. L., Hu, L., Zhang, S. T., and Gao, D. H. (2009). Applying TAFEI method to orthopaedic robot system's requirements analysis, In *2009 16th International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*. [En línea]. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/xpl/conhome/5339384/proceeding>. Fecha de consulta: 14 de noviembre de 2017.
- Márquez, L. D. M. (2002). Las personas mayores ante las tecnologías de la información y la comunicación. Estudio valorativo. *Profesorado, Revista de Currículum y*

Formación del Profesorado. 6(1):1-9.

Milán, E. G., Salazar, E., Domínguez, E., Iborra, O., de-la-Fuente, J. y de-Córdoba, M. J. (2015). Neurotermografía y termografía psicósomática. Fundación Internacional artecittà, en *ReseachGate*. [En línea]. Disponible en: <http://goo.gl/Af5kov>. Fecha de consulta: 14 de octubre de 2017.

Mohammadian, M., Choobineh, A. R., Mostafavi-Nave, A. R., and Hashemi-Nejad, N. (2012). Human errors identification in operation of meat grinder using TAFEI technique. *Journal of Occupational Health and Epidemiology*. 1(3):171-181.

Nielsen, J. (1994). *Usability Engineering*. San Diego: Morgan Kaufmann. 369 Pp.

Nielsen, J. (2001). Usability Metrics, de Nielsen Norman Group website. [En línea]. Disponible en: <https://www.nngroup.com/articles/usability-metrics/>. Fecha de consulta: 10 de julio de 2019.

Rubio, S. (2002). Evaluación y medida de la carga de trabajo mental en una tarea de diagnóstico de fallos. [En línea]. Disponible en: <http://eprints.ucm.0es/tesis/19911996/S/4/S4002601.pdf>. Fecha de consulta: 27 de octubre de 2017.

Rubio, S., Díaz, E. M. y Martín, J. (2001). Aspectos metodológicos de la evaluación subjetiva de la carga mental de trabajo. *Archivo de Prevención de Riesgos Laborales*. 4(4):160-168.

Stanton, N. (2006). Hierarchical task analysis: Developments, applications, and extensions. *Applied Ergonomics*. 37(1): 55-79.

Stanton, N. and Baber, C. (2005). Validating task analysis for error identification: reliability and validity of a human error prediction technique. *Ergonomics*. 48(9): 1097-1113.

Stanton, N., Salmon, P. M., and Rafferty, L. A. (2013). *Human Factors Methods: A Practical Guide for Engineering and Design*. United States of America: Ashgate Publishing. 657 Pp.

Tsang, P. S. and Velazquez, V. L. (1996). Diagnosticity and multidimensional subjective workload ratings. *Ergonomics*. 39(3): 358-81.