

## Revisión del concepto de carga mental: evaluación, consecuencias y proceso de normalización

Ramon Ferrer  
Universitat de Barcelona  
Inés Dalmau  
Universitat Politècnica de Catalunya

*La carga mental constituye un tópico que reviste cada vez más importancia en ergonomía, a medida que la moderna tecnología se ha ido introduciendo en la práctica totalidad de los entornos, imponiendo mayores demandas cognitivas a las personas encargadas de llevar a cabo las tareas que nos plantea la vida cotidiana. No existe consenso en su definición concreta, ni posee una unidad de medida específica. Su evaluación se acostumbra a efectuar mediante una batería de procedimientos que abarcan desde sus posibles generadores hasta la opinión de las personas que realizan las tareas. La fatiga mental, provocada tanto por infra como por sobrecarga, y los posibles errores que pueden generarse, son dos de las consecuencias cruciales que conviene analizar, todo ello desde la perspectiva de la generación de la carga mental: el procesamiento de información. Finalmente, conviene considerar los procesos de normalización internacional de la temática que se están desarrollando.*

*Palabras clave: carga mental, evaluación de la carga mental, fatiga mental, errores, normalización.*

*The introduction of modern technology in almost every human environment imposes higher cognitive demands on people performing everyday tasks. This is why mental workload is a topic of increasing importance. There is no agreement on the definition of mental workload, nor any unit of measurement. It is usually assessed through an array of methods that focus on items ranging from its possible sources to the opinions of the people performing a specific task. Mental fatigue (induced by underload as well as by overload) and the mistakes that may arise from it are two of the*

*main consequences that should be analysed from the perspective of their cause – that is, information processing. Finally, the paper describes the current attempts to standardize the concept of mental workload.*

*Key words: Mental workload, mental workload assessment, mental fatigue, human error, standardization.*

En las últimas décadas es evidente el decremento de la carga física inherente a la realización de muchas tareas. Este progreso ha conllevado sin embargo, y de forma paralela, un considerable incremento en sus respectivas cargas mentales. Estas últimas, desafortunadamente, no pueden medirse con tanta facilidad como las primeras, por no mencionar las cargas de índole psicosocial y sus consecuencias, evidenciadas en estos momentos en todos los medios de comunicación social, que no deben confundirse con las de origen mental y sus respectivos efectos (Artazcoz, 2001; Ferrer, 1997; Tsang, 2001).

El incremento en automatización, volumen de información y facilidad de comunicación han transformado las tareas más habituales en procesos muy complejos y abstractos. Hemos llegado a situaciones en las que tenemos cada vez más dificultad para discernir en qué punto, entre el inicio y el resultado de una tarea, se desarrolla nuestra labor. A medida que aumentan los dispensadores y procesadores de información, y ésta es cada vez más abundante y compleja, se incrementa la carga en los procesos sensoriales y cognitivos, con alternancias tanto en la modalidad de los primeros como en la implicación de los segundos, y en sus respectivas relevancias (Cremer, 2001).

## Definición

Una característica fundamental a considerar en una persona que esté realizando una tarea es su capacidad para procesar la información que ésta le plantea, concepto íntimamente ligado al de carga mental. En un sentido amplio, la capacidad de procesamiento o recursos mentales se define como el conjunto de componentes estructurales y energéticos que posee la persona (Cremer, 2001).

Pueden diferenciarse, históricamente, dos grandes enfoques en el abordaje de la carga mental:

1. El que hace referencia a sus componentes estructurales, identificados tradicionalmente con las operaciones específicas de procesamiento de información (Sternberg, 1969), los modelos de cuello de botella, como el que propuso Broadbent (1958) con su delimitación inicial de la que ahora llamamos memoria de trabajo, o su delimitación tardía o atenuación posterior tal y como propusieron otros autores (Deutsch y Deutsch, 1963) en base a la constatación de identificación de estímulos no deseados. Los modelos de cuello de botella no han podido verificarse en base los resultados obtenidos mediante tareas realizadas fuera del laboratorio (Meyer y Kieras, 1997), por lo que han perdido gran parte de su validez ecológica.

2. El que hace referencia a la limitación en las capacidades o recursos que puede precisar la realización de una o varias tareas simultáneas, como por ejemplo la que se refiere a los componentes energéticos asociados con la atención (Kahneman 1973). Se trata de un modelo unidimensional que ha dado lugar a diversos procedimientos de evaluación cuantitativa de la carga mental. Estas teorías asumen que la persona posee una capacidad atencional finita que puede depositarse sobre una o varias tareas. Esencialmente la carga mental representa la proporción de recursos disponibles para llevar a cabo las demandas: si éstas exceden la capacidad de la persona, y ésta posee experiencia en la tarea, ajusta sus estrategias para compensarlas, o de lo contrario su ejecución se resiente. Más recientemente Wickens (1984) ha propuesto un modelo de recursos múltiples, basado en el grado de interferencia de los recursos individuales en la competencia por estructuras o modalidades de procesamiento comunes para realizar distintas tareas simultáneamente.

Desde finales del siglo XIX se investigó el proceso de la atención humana como indicador de actividad mental, aunque su interés fue decayendo en la primera mitad del siglo XX, posiblemente debido al auge del conductismo. A mediados de siglo, los aparatos que debían controlar y manipular los seres humanos fueron aumentando en complejidad y, en consecuencia, aumentó el número de demandas que éstos planteaban: la habilidad para atender a diversos estímulos simultáneamente, con elementos de atención al seguimiento de una estrategia, vigilancia, toma de decisiones en base a información modificada constantemente, comunicación, etc. incrementaron el uso de la habilidad de concentración en determinados elementos en detrimento de otros (Chase, 2001). Es decir, el propio proceso de atención seleccionaría qué estímulo/s atender y qué cantidad de ella depositamos en cada estímulo de forma simultánea. Un elemento fundamental en esta propuesta es el tiempo en el que debemos estar atentos, al tratarse de un recurso energético que puede agotarse. Sin negar la existencia y aportación de las estructuras, este modelo enfatiza la interferencia a nivel de capacidad como determinante en la ejecución de tareas.

Esta propuesta de una única fuente de recursos que puede distribuirse entre todas las actividades mentales que lo requieran tiene, como se verá más adelante, repercusiones fisiológicas observables que han proporcionado una fuente de evaluación indirecta de gran utilidad, además de su independencia de las respuestas subjetivas.

En una visión somera, la capacidad de trabajo mental se compone de los factores necesarios para manejar información, los recursos cognitivos en forma de elementos de transferencia de esta información (memoria y atención), la percepción subjetiva y las emociones y, finalmente, la preparación para la acción (motivación y esfuerzo).

Los procesos de información se relacionan con el input sensorial y perceptual, la cognición central (resolución de problemas y decisión) y el output (preparación motriz y control de la acción). Otras dimensiones a considerar tienen un origen eminentemente energético. La combinación de estos elementos depende de la rapidez, duración, alternancia e interferencias durante el procesamiento (ruido ambiental, presión social, etc.) que pueden alterar la atención y los

contenidos de la memoria. En este sentido, conviene tener siempre en consideración que la realización de tareas por parte de seres humanos, incluso las que no impliquen actividad física, puede verse afectada por un gran número de variables psicológicas, fisiológicas y ambientales. La exposición a calor o frío excesivos, por ejemplo, puede disminuir su eficacia y eficiencia. Desde hace más de 50 años se ha venido estudiando este efecto y se han diseñado diversos métodos para evaluar la exposición a condiciones ambientales adversas, especialmente en lo que se refiere a exceso de calor, humedad, velocidad del aire, nivel de CO<sub>2</sub>, etc.; métodos como el WBGT (*wet bulb globe temperature*), el índice de sudoración requerida, o el método Fanger para condiciones «normales» de interior, pueden ser de utilidad, aplicados de forma previa a la evaluación de la carga mental, para eliminar posibles variables intervinientes que contaminasen los resultados (Chase, 2001), como por ejemplo los problemas en ejecución de tareas realizadas por encima de los 30 grados centígrados descritos por Ramsey (1995). Además, se observa un declive en la capacidad de procesar información con el aumento de la edad, sobre todo en tareas complejas (Cerella, 1991).

No existe, por tanto, una definición comúnmente aceptada de la carga mental, pudiéndose hablar de dos perspectivas (Hacker, 1998):

a) Entendida como exigencias externas de la tarea, a las que tiene que enfrentarse la persona. Desarrollada desde la perspectiva del diseño de tareas, utilizando básicamente el concepto de estrés-tensión (ISO 10 075-1, 1991). Los requisitos de la tarea constituyen el estrés y las personas han de adaptarse a ellas.

b) Dependiendo de la interacción entre exigencias de la tarea y capacidades o recursos de la persona (Hancock y Chignell, 1986; Welford, 1986; Wieland-Eckelmann, 1992). Se desarrolló en el contexto de las teorías de la adaptación entre personalidad y entorno, que tratan de explicar las diferencias individuales, en términos de fatiga, monotonía, aversión afectiva, agotamiento o enfermedad (Gopher y Donchin, 1986; Hancock y Meshkati, 1988).

Como características comunes a ambas propuestas se puede destacar que la carga mental de trabajo:

- Describe los aspectos conocidos de la tarea (requisitos y exigencias) y facilita la predicción de sus resultados.

- Se conceptualiza en términos de procesamiento de información, incluyendo aspectos cognitivos, motivacionales y emotivos, en base a la autorregulación del esfuerzo que realiza la persona para llevar a cabo las tareas.

- El procesamiento de información integra procesos mentales y representacionales (modelos mentales).

- Es multidimensional, puesto que relaciona aspectos independientes que deben considerarse por separado en su diseño.

- Tiene así mismo un impacto multidimensional que determina el comportamiento de la persona, su bienestar subjetivo a corto y largo plazo y los procesos psicofisiológicos subyacentes.

- Debe optimizarse para evitar infracargas y sobrecargas.

Como ya hemos indicado, algunas teorías intentan definir la carga mental a partir de los recursos o capacidades, junto con las exigencias, como la teoría del volumen de recursos y la teoría de la distribución de recursos (Wieland-Ec-

kelmann, 1992). Las teorías de distribución de recursos suponen la aplicación de distintos procesamientos y representaciones mentales para la realización de una tarea, en la que el volumen de recursos estables no es el elemento importante, sino la flexibilidad de las estrategias.

La cantidad de recursos puede proceder de una sola fuente (teoría del recurso único) que determina el procesamiento, y cuya disponibilidad varía en función del estado de alerta (Kahneman, 1973). Pero las actuales teorías de recursos múltiples plantean un conjunto de recursos interdependientes, en las que el rendimiento depende de la utilización simultánea de un mismo recurso o varios (por ejemplo codificación, procesamiento, respuesta, etc.) (Gopher y Donchin, 1986; Welford, 1986). El problema con este planteamiento surge al intentar identificar capacidades bien delimitadas para operaciones cualitativamente distintas.

El modelo de recursos múltiples (Wickens, 1992) plantea recursos atencionales específicos para distintos tipos de procesamiento cognitivo. Estos recursos atencionales se definen mediante tres dimensiones (véase Figura 1):

- Estadios de procesamiento: el procesamiento perceptivo/central y el de respuesta precisan de recursos separados.
- Códigos de procesamiento: el procesamiento verbal y el espacial precisan recursos independientes.
- Modalidades input/output: el procesamiento visual y el auditivo precisan diferentes recursos, así como las respuestas manuales y las verbales.

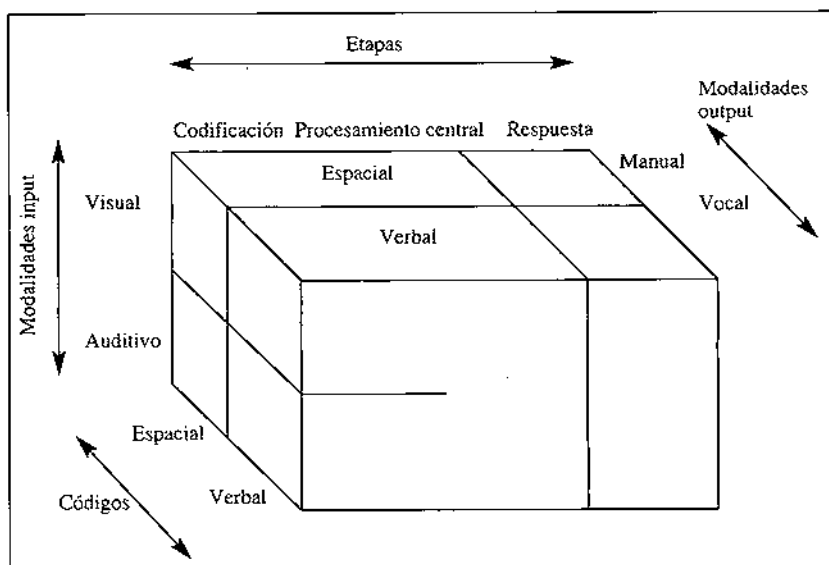


Figura 1. Modelo tridimensional de Wickens.

Otro aspecto a considerar es la realización, cada vez más común en el entorno de la persona, de tareas múltiples: a mayor similitud en las demandas de recursos entre los componentes de la tarea, más fuerte es su competitividad y menor el nivel de resultados obtenidos. Con tareas extremadamente difíciles, es necesario seleccionar una de ellas como prioritaria en detrimento de las otras o, de lo contrario, afrontar el riesgo de que se deterioren todas. Si se desea incorporar nuevas tareas a las ya existentes, deberán analizarse los recursos disponibles.

Como se ha visto hasta este punto, tal y como Young y Stanton (2001) señalan, no existe consenso en la definición de carga mental, aunque su analogía con la carga física sea comúnmente aceptada.

En este sentido, la carga mental estaría compuesta por dos elementos: el estrés o demandas de la tarea y la presión o impacto resultante sobre la persona. La presión, que es importante reiterar puede ser por sobrecarga o por infracarga, es generada por un desajuste entre demandas y capacidades. La carga excesiva puede afectar a la atención selectiva, que conducirá a la persona a efectuar un muestreo poco eficiente o escaso. La ausencia o escasez de carga, generará monotonía y distracción. Sin embargo, este tipo de modelos no tiene en consideración la aportación que elementos no relacionados con la atención, como puede ser la experiencia de la persona en la realización de la tarea, puedan tener. Un modelo alternativo, pues, contemplaría las habilidades de la persona y el grado de automatización presente en el procesamiento cognitivo; éste sería inconsciente y exento de las restricciones impuestas por la limitación de los recursos atencionales.

Desde esta perspectiva la carga mental en un entorno real viene determinada por el equilibrio entre los procesamientos automáticos y controlados. Por lo tanto, entenderemos la carga mental como un concepto multidimensional, determinado por las características de la tarea (requisitos, ejecución, etc.) y de la persona (experiencia, atención, etc.).

Una definición que no puede considerarse exhaustiva, pero que se aproxima a un planteamiento que podría ser consensuado por la mayor parte de investigadores en el campo, y añade un carácter predictivo resultante de las variaciones en las demandas, entrenamiento y otras variables intermedias, es la propuesta por Young y Stanton (2001) como, el «nivel de recursos atencionales necesarios para equilibrar los criterios de ejecución objetivos y subjetivos, que pueden ser modificados por las demandas de la tarea, soporte externo y experiencia». En esta definición, el nivel de recursos atencionales tiene capacidad limitada, más allá de la cual aparecen errores en la ejecución; los criterios de ejecución pueden ser impuestos externamente o por la propia persona. Como ejemplos de requisitos de la tarea pueden citarse la presión temporal o la complejidad. El apoyo exterior puede provenir de supervisión o ayuda tecnológica y, por último, la experiencia puede influir en la carga mediante cambios en habilidades o conocimiento.

En la bibliografía aparecen muchos ejemplos de factores que pueden incrementar la carga mental (aumento del trabajo percibido para conseguir un objetivo, decremento del tiempo disponible para alcanzarlo, etc.). Por otra parte, ejecución y carga están negativamente correlacionadas, de forma que la percepción elevada de carga se asocia con decremento en ejecución. También se ha demostrado que el de-

cremento en la carga puede ser igualmente perjudicial para la ejecución. Hay menor consenso, sin embargo, sobre qué factores pueden disminuir la carga mental, aunque la retroalimentación o la disminución de opciones entre las que tomar decisiones, por ejemplo, son aceptadas mayoritariamente. Sin embargo, fenómenos como la automatización muestran resultados paradójicos: las cabinas de pilotaje de aviones han reducido la carga de trabajo, mediante disminución del número de *displays* y automatización de procedimientos; pero, estos mismos sistemas han incrementado el número de decisiones entre las que escoger en una misma situación y generado confusión sobre los modos operativos (Sorin, 2003). Se ha adaptado la famosa curva de Yerkes-Dodson (1908) para justificar la necesidad de plantear niveles óptimos de carga para obtener niveles óptimos de ejecución.

## Evaluación

Actualmente no es posible medir la carga mental con exactitud, puesto que carecemos de unidades de medida específicas, sin que esto sea óbice para que los instrumentos de evaluación indirecta que se han desarrollado deban considerar las características de fiabilidad, validez, objetividad y utilidad clásicas.

Pueden distinguirse tres objetivos en la evaluación de la carga mental:

– *Predicción*: para anticipar las posibles sobrecargas o infracargas que aumentarán la probabilidad de cometer errores, y sus consecuencias.

– *Comparación*: entre diferentes alternativas para llevar a cabo la tarea, o bien al plantearse modificaciones en las demandas relativas a diferentes partes de una misma tarea global.

– *Diagnóstico*: con la finalidad de identificar los elementos conflictivos.

Además de proporcionar una valoración de la propia carga implícita en cada tarea, cualquier método debería poder responder a preguntas como ¿tiene la tarea un fin en sí misma?, ¿tiene objetivos autodeterminados o está dirigida externamente?, ¿qué tipo de recursos (procesamiento mental consciente, aplicación de conocimientos, etc.) requiere la tarea?, ¿se utilizan estos recursos simultánea o secuencialmente?, si existen diferentes estrategias, ¿cuáles son?, ¿qué recursos necesita la persona para afrontar la situación? (Hacker, 1998).

## Procedimientos de Evaluación de la carga mental

Pueden distinguirse cuatro tipos de evaluación de la carga mental. En la práctica, acostumbra a utilizarse una batería compuesta de, como mínimo, dos o tres de los tipos descritos a continuación:

### 1. Evaluación de la ejecución

La metodología de tareas primarias evalúa en tiempo real la capacidad de una persona para ejecutar una tarea o función de un sistema, una vez ésta se ha

estabilizado. La premisa básica que subyace en estos procedimientos establece, como hemos visto, que una tarea con carga alta será más difícil y dará como resultado una ejecución más degradada.

Debido a las características específicas de cada tarea, pueden obtenerse diversas métricas, entre las que los datos referidos a velocidad y precisión son las más comúnmente empleadas; esto puede añadir complejidad para la obtención de un valor global final de la carga relacionada con la tarea y su comparación con otras tareas. La hipótesis que subyace a este planteamiento predice una degradación de la ejecución de la tarea a medida que su carga impuesta va más allá de los límites de procesamiento de la persona (Wilson y Eggemeier, 2001).

Estos procedimientos deberían estar presentes en cualquier evaluación de carga mental de trabajo, aunque no son sensibles a las variaciones que puedan ocurrir en las tareas que presenten poca carga y no alcancen los límites de procesamiento del operador, por lo que se recomienda que vayan siempre acompañadas de otras metodologías complementarias (O'Donnell y Eggemeier, 1986; Eggemeier y Wilson, 1991; Tsang y Wilson, 1997) como puede ser la aplicación de una tarea secundaria (Tsang, 2001).

Los procedimientos de tareas secundarias evalúan la capacidad de ejecutar la tarea primaria concurrentemente con una tarea adicional. Pueden aplicarse cuando la evaluación de tareas primarias sea difícil, compleja o económicamente costosa, por ejemplo en base a la imposibilidad de registro *on line* de la tarea primaria, o en sistemas altamente automatizados. Una tarea secundaria simple puede ofrecer ventajas como la evaluación de aspectos que las primarias no alcanzan: en tanto que las primarias son efectivas en largos periodos de tiempo, las secundarias pueden serlo para periodos cortos y para la capacidad mental reservada. También puede discriminar las diferencias individuales en recursos atencionales.

Una opción alternativa consiste en proponer la realización de diversas tareas primarias simultáneamente, sobre todo si la tarea secundaria propuesta pudiera parecer ajena a la primaria, o en el caso de poder mostrarse como intrusiva, especialmente en el caso de evaluar tareas primarias con poca carga.

Es importante tener en cuenta, a la hora de optar por una tarea secundaria, que los estímulos discretos impliquen los mismos recursos que la primaria; por ejemplo, si la tarea primaria es conducir (utilización de inputs visuales, procesamiento espacial y respuesta motriz) la secundaria debe tener las mismas características, con lo que aseguramos que estamos midiendo la misma capacidad compartida y no distintos recursos, siempre y cuando no sea intrusiva (por ejemplo, leer estímulos adicionales del panel de instrumentos mientras se conduce).

En su paradigma tradicional de aplicación, se instruye a la persona para realizar la tarea primaria y la secundaria al unísono y, en caso de no poder realizar ambas a la vez, omitir la secundaria. Debe tomarse en consideración la posibilidad de que la persona no siga estas instrucciones y actúe en detrimento de la tarea primaria, por lo que también se propone la metodología opuesta: que la persona intente cumplir todos los requerimientos de la tarea secundaria, en detrimento de la primaria, o que la persona no ejecute todos los requisitos de la tarea secundaria al percibir esta como artificiosa por lo que se ha utilizado en mu-



chas ocasiones como secundaria una de las funciones correspondientes a la tarea primaria (comunicación, etc.) que se presente con una frecuencia baja en el contexto habitual, incrementando dicha frecuencia o la complejidad de la función en concreto. Caso de poder llevar a efecto todos los requerimientos de la primaria, los resultados de la secundaria nos indicarán la capacidad restante para procesar la información que resta en la persona; evidentemente los requisitos de la tarea secundaria deben ser crecientes, a fin de poder observar los límites de capacidad de la persona cuando la tarea primaria exija niveles bajos de procesamiento (Wilson y Eggemeier, 2001).

Tareas típicas de experimentos en contexto de laboratorio se acostumbran a emplear como secundarias (aritmética mental, recuerdo, etc.), o bien una de las partes de la tarea primaria, como comunicación con otros operadores, bien sea esta directa o por medio de teléfono, radio, ordenador, etc., aumentando el número o complejidad de éstas (Tsang, 2001).

## 2. Evaluación subjetiva

Analiza la percepción de las demandas que experimenta la persona que realiza la tarea. Para muchos autores, éste es el procedimiento de evaluación de la carga mental más adecuado. Generalmente se emplean escalas ordinales para evaluar la carga mental percibida por el sujeto, que se administran inmediatamente tras la finalización de la tarea, o en ocasiones de forma retrospectiva, tras finalizar todas las situaciones que comporte la tarea; pueden ser escalas absolutas o relativas, basándose las primeras en la tarea objeto de estudio y las segundas en su comparación con otra estandarizada o múltiple (método redundante). Puede ampliarse este apartado en O'Donnell y Eggemeier (1986).

Las técnicas de evaluación subjetiva tienen un elevado nivel de aceptación por parte de la persona, en base a su facilidad de uso y al hecho de que permiten expresar la propia opinión. Se trata, de hecho, de la metodología más empleada en la evaluación de la carga mental. Al tratarse de unidades de medida independientes de la tarea, pueden utilizarse para establecer comparaciones entre distintas tareas. Son muy sensibles a la información presente en la memoria de trabajo y poco a las demandas de la tarea. Se ha demostrado su validez concurrente con las medidas de ejecución, aparte de que, al obtenerse después de realizada la tarea, no presentan problemas de obstrusividad. Conviene tener muy en cuenta el lapso de tiempo entre la finalización de la tarea y la aplicación de la metodología, en base a los problemas de índole memorística que podría representar (Tsang, 1994).

En el último cuarto de siglo se han elaborado diversas metodologías uni y multidimensionales para la evaluación subjetiva de la carga mental. Citaremos, entre las primeras, la versión modificada de la escala de Cooper-Harper (MCH) (1969) (Wierwille y Casali, 1983), caracterizada por su simplicidad de aplicación y análisis, pero que sólo ofrece una puntuación global. Por el contrario, las multidimensionales ofrecen mayor capacidad de diagnóstico de los factores de carga, aunque emplean procedimientos de aplicación y análisis más complejos. Entre las más empleadas destacan el SWAT (*Subjective workload assessment*

*technique*) (Reid y Nygren, 1988) y el NASA-TLX (*Task load index*) (Hart y Staveland, 1988). Ambos precisan que los sujetos evalúen la carga subjetiva en diversas escalas que, combinadas, proporcionan una valoración global (O'Donnell y Eggemeier, 1986; Eggemeier y Wilson, 1991; Wierwille y Eggemeier, 1993; Tsang y Wilson, 1997; Arquer, 1999).

Todas minimizan el riesgo de incurrir en elementos intrusivos, uno de los problemas más frecuentes en la aplicación de evaluación de tareas primarias y precisas de una instrumentación mínima, por lo que su aplicación en entornos reales se ha visto muy favorecida.

La mayoría de los instrumentos estandarizados existentes en el mercado son multidimensionales, por lo que proporcionan información de la cantidad de carga que la persona asocia con la tarea, y además se obtienen niveles de dimensiones subjetivas (presión temporal y esfuerzo mental, por ejemplo). Sin embargo, conviene considerar que instrumentos del tipo NASA-TLX contribuyen sólo al análisis en sí y en ocasiones puede ser conveniente aplicar conjuntamente otros para evaluar diseño y rediseño, como puede ser el TBS-GA (*Tätigkeitsbewertungs System für geistige Arbeit* (Sondeo para el diagnóstico de tareas: trabajo mental) de Rudolph, Schönfelder y Hacker, (1987)).

Las críticas generales a las técnicas de evaluación subjetiva se refieren principalmente a las habilidades metacognitivas de la persona, en base a que las evaluaciones deben aplicarse después de realizada la tarea que, si ha sido de larga duración, puede afectar a su fiabilidad.

### 3. Registro de parámetros psicofisiológicos

Los cambios en la actividad cognitiva se han asociado con diversas modificaciones del funcionamiento fisiológico de la persona (Wilson y Eggemeier, 2001). Se utilizan tanto indicadores del sistema nervioso central como del autónomo para evaluar la carga mental de forma indirecta. Entre los primeros destacan el electroencefalograma (EEG), los potenciales relacionados con el evento (ERP) y la actividad magnética y metabólica del cerebro (como la tomografía por emisión de positrones (PET)). Los indicadores del sistema nervioso autónomo más empleados son el registro de la actividad cardiovascular, respiratoria, ocular (pupilometría y parpadeo), y la actividad electrotérmica (EDA). Kramer (1991) ofrece una revisión de todos ellos. También se han analizado los fluidos metabólicos (como el cortisol salivar, por ejemplo). Su monitorización continua permite la obtención de datos de las repercusiones fisiológicas en la persona a lo largo de toda la realización de la tarea, que reviste especial utilidad cuando tienen lugar sucesos imprevistos, por ejemplo, puesto que pueden analizarse las consecuencias reflejadas en ese momento, al contar con datos de toda la sesión. Debe cuidarse de forma extrema la no intrusividad del procedimiento, asegurando niveles basales válidos y fiables antes de obtener los datos definitivos para su posterior análisis. Wilson y Eggemeier (1991), Kramer (1991) y Tsang y Wilson (1997) describen en profundidad estos requisitos.

a) *Actividad eléctrica cerebral*. Las ondas electroencefalográficas, descompuestas en sus bandas de frecuencia constituyentes, y la energía en cada una de

ellas (típicamente se utilizan las estandarizadas para este tipo de análisis: delta, theta, alfa, beta y gamma) se han asociado con incremento en los requisitos de tareas (decremento en la banda alfa e incremento en la theta, en tanto que las bandas beta y gamma aumentan en las partes de la tarea con mayores demandas).

En situaciones en las que se presentan estímulos discretos a lo largo de una tarea es posible efectuar un registro de los potenciales relacionados con el evento (ERP), entre los que destaca el uso de la P300. Muchas de estas investigaciones se han llevado a cabo en laboratorio o en simuladores de vuelo.

*b) Ritmo cardíaco.* Se trata del parámetro más utilizado en la evaluación de la carga mental, sobre todo en contextos aeroespaciales, en los que incluso se han observado variaciones en ritmo cardíaco en función del gradiente de aproximación en una tarea de aterrizaje: gradientes mayores generan tasas cardíacas más elevadas que gradientes de aproximación menos pronunciados. El piloto al mando del aparato muestra un ritmo más elevado que el copiloto, alternándose éste concurrentemente con la alternancia en el desempeño de esta función. Estos periodos de tasas elevadas pueden utilizarse en posteriores sesiones de análisis de la tarea para discutir los elementos del sistema que los han provocado. También se ha utilizado con resultados similares en tareas de telemarketing, conducción de automóviles, embarcaciones y autobuses.

*c) Parpadeo.* La información visual es crítica en muchos sistemas. El parpadeo elimina esta información durante breves décimas de segundo, y las personas encargadas de realizar la tarea muestran un decremento en su tasa de parpadeo en situaciones de elevada carga con componentes visuales críticos. Los parpadeos pueden medirse mediante sensores colocados en la cara o con pequeñas cámaras que permiten obtener indicadores como tasa, duración del parpadeo y amplitud. Conducir en áreas congestionadas, aterrizar un avión, buscar un objetivo determinado, etc., se asocian con menores tasas de parpadeo y periodos de cierre de los ojos. Es fundamental monitorizar conjuntamente la situación para establecer la conexión entre ambos fenómenos.

Al emplear este tipo de indicadores es importante considerar los artefactos del entorno (mediante controles y asunción de líneas basales adecuadas, como ya se ha resaltado, que filtren, por ejemplo la presencia de la ritmicidad inherente al sistema nervioso), el estado físico de la persona, además de contar con expertos y herramientas para aplicar las elaboradas técnicas de análisis de datos que deberán realizarse a posteriori además, evidentemente, de justificar el vínculo entre el indicador y la ejecución de la tarea. Una de las ventajas más destacables de emplear estas metodologías es la poca intrusividad en la ejecución de la tarea, en base a los pocos sensores que se aplican a la persona, que al poco tiempo deja de ser consciente de su presencia. Un ejemplo de esta estrategia es la que se emplea al integrar sensores de EDA en el volante de un automóvil (Meshkatti, Hancock y Rahimi, 1990).

#### 4. Métodos analíticos

Se utilizan primordialmente en las fases de diseño de tareas o desarrollo de sistemas, dado que se trata de elementos estimativos y posibilitan la modificación

en el diseño antes de su puesta en funcionamiento, evitando las costosas modificaciones a implementar una vez elaborado definitivamente para su fabricación.

Para emplear estos procedimientos, un grupo de expertos en la temática elabora un modelo estructurado de la tarea, bien sea éste matemático, de ingeniería o psicológico. Uno de sus principales inconvenientes es su presuposición de una única operación a realizar en cada momento, punto que raramente se cumple en situaciones reales; por ello se han diseñado procedimientos que permiten analizar funciones llevadas a cabo en entornos multitarea dinámicos y complejos. Entre ellos destacan el PROCRU (modelo para tripulación orientado al procedimiento) diseñado para el análisis de la fase de aterrizaje en vuelos comerciales, el W/INDEX (*Workload index* o Índice de carga de trabajo) utilizado para evaluar el diseño de aviones de combate tácticos, el TAWL (*Task análisis/workload*) (Hamilton, Bierbaum y Fulford, 1990) y el TLAP (*Time line analysis and prediction*). McMillan y cols. (1989) y Tsang y Wilson (1997) describen estas metodologías.

El procedimiento más empleado es el análisis de líneas temporales, en el que se hipotetiza el tiempo necesario para realizar cada parte de la tarea y se compara con el tiempo total disponible para realizar la tarea. Dado que muchas funciones están limitadas en el tiempo, puede evaluarse la viabilidad de la tarea.

Una de las aportaciones más destacadas de los métodos analíticos consiste en su explicitación de cada parámetro y asunción del modelo, permitiendo la consideración precisa de las variables input y output relevantes; por otra parte proporciona predicciones específicas que pueden comprobarse empíricamente y, finalmente, facilita la comunicación de los resultados. A pesar de ello se han utilizado con menor frecuencia que los procedimientos descritos hasta este punto, probablemente debido a que la generalización de las tareas multiproceso y multicanal se ha dado en los últimos años.

### **Consideraciones sobre la evaluación de la carga mental**

Hacker (1998) divide en dos estrategias la evaluación de la carga mental:

a) *Valoración del esfuerzo necesario*: mediante aplicación de medidas psicofisiológicas validadas, evaluación subjetiva etc., como propone Bartenwerfer (1970) mediante aplicación subjetiva de escalas verbales y gráficas que valoran unidimensionalmente el esfuerzo, aunque precisamente presenta el inconveniente de su unidimensionalidad y su caracterización abstracta, descontextualizadora, del esfuerzo (Eliers, Nachreiner y Hänicke, 1986).

b) *Valoración de la capacidad mental utilizada o residual*: mediante técnicas de doble tarea. O'Donnell y Eggemeier (1986) proponen la aplicación de la doble tarea y su interpretación mediante POC (Característica del Rendimiento Operativo, similar a las curvas ROC (Característica Operativa del Receptor) utilizadas en psicofísica), en situaciones de atención dividida, coste de tareas duales, ubicación de la atención y ejecución funcional del operador, que presentan el inconveniente de que cada tarea precisa de cierta proporción de la capacidad consciente de procesamiento, limitada y estable, frente a otra inconsciente, automatizada, y sólo consideran los datos de rendimiento (que pueden presentar discrepancias frente a la carga percibida). La carga percibida parece estar deter-

minada por los recursos necesarios en términos de memoria de trabajo y las medidas de rendimiento por la eficacia del reparto de recursos (teoría de la disociación de Wickens y Yeh (1983)), además de la posible influencia de las diferencias individuales.

Las tareas son multidimensionales, por lo que un perfil sería una descripción más precisa, aplicando un patrón de las dimensiones. El punto central sería la conceptualización de la tarea, en términos de contenido y su cumplimiento, considerando sus condiciones contextuales. El resultado sería dual con el logro o resultado perseguido, por una parte, y los efectos no buscados (personales a corto plazo y acumulativos a largo plazo, como la fatiga, etc.) por otro.

En la evaluación de la carga mental se proponen como características indispensables a analizar:

- La autonomía temporal y de procedimiento sobre los objetivos autoimpuestos y, por consiguiente, transparencia, posibilidad de predicción y control de la situación laboral.

- La cantidad y diversidad de las tareas secundarias, principalmente en lo que se refiere a su preparación, organización y comprobación de resultados obtenidos y las acciones que las acompañan (deben finalizarse cíclicamente o están fragmentadas).

- La variedad de procesos y representaciones mentales reguladores de la acción (automatizados, basados en el conocimiento y experiencia anteriores o procesos intelectuales y de resolución de problemas).

- La cooperación requerida.

- Las opciones o exigencias de aprendizaje a largo plazo.

Entre los métodos de evaluación objetiva utilizados por gran parte de los técnicos de ergonomía que realizan una evaluación de las condiciones de trabajo, incluyendo la valoración de indicadores de carga mental, podemos destacar por ser los más tradicionales y ampliamente utilizados, el método LEST, el método de los perfiles de puestos (RNUR), el método *Ergonomic Workplace Analysis* (EWA) y el método ANACT (Dalmau y Nogareda, 1998; Arquer y Nogareda, 2000). Cabe destacar que, con excepción del LEST, estos métodos proporcionan una aproximación inicial, poco profunda de la carga mental.

Como conclusión a este apartado es fundamental resaltar, en primer lugar y como ya se ha indicado, la consideración y valoración de una serie de características para cada tipo de medida a obtener, sobre las que no se va a entrar en este artículo, en relación con su sensibilidad, diagnosticabilidad, intrusividad, validez, fiabilidad, facilidad de uso y aceptación por parte del operador. En segundo lugar, para obtener un esquema completo de la carga mental presente en una tarea se recomienda utilizar diversas metodologías simultáneamente. La selección de estas metodologías debe realizarse en base a los objetivos concretos de cada estudio, las restricciones técnicas, los expertos que participen y, evidentemente, las propiedades intrínsecas de cada instrumento (un conocimiento amplio de la psicometría es fundamental, por ejemplo, en el caso de utilizar medidas subjetivas, en tanto que los modelos de procesamiento de información permiten seleccionar los parámetros a medir). Dado que la carga mental es multidimensional, y las metodologías expuestas son diferencialmente sensibles a las distintas di-

mensionales de la carga, es frecuente observar la aparición de resultados no concurrentes, aunque las evaluaciones subjetivas parecen mostrarse más sensibles ante la competición de recursos (Yeh y Wickens, 1988).

## Fatiga mental y fenómenos relacionados

La tensión mental es una consecuencia normal del proceso de enfrentarse a la carga mental que, si es prolongada o demasiado intensa, puede causar a corto plazo situaciones de sobrecarga (fatiga) y subcarga (monotonía), y a largo plazo problemas de estrés. Variando las estrategias de trabajo puede mantenerse una regulación estable de la actividad, o también rebajando el nivel de objetivos o aumentando el esfuerzo psicofisiológico (Richter, 1998).

Bajo la denominación «fatiga mental» pueden hallarse diversas definiciones:

- El decremento en la ejecución de una tarea.
- El decremento en el rendimiento, tanto físico como cognitivo.
- La afectación del procesamiento mental, induciendo a sensación de fatiga, una de cuyas consecuencias puede ser la aparición de procesos de estrés.

La fatiga mental es un proceso reversible en el tiempo, modificando las exigencias de trabajo, las influencias del entorno o la estimulación, y completamente reversible a través del sueño (Marek, 2001).

A menudo se trata la fatiga mental en el contexto de la teoría de la activación, en referencia a sus niveles óptimos, y a las perniciosas consecuencias que puede suponer tanto la sobre como la infra-activación.

Un factor predominante de la fatiga mental es su percepción, que puede comportar situaciones de peligro para la persona cuando ésta es consciente de que no puede efectuar pausas o descansos. Generalmente se perciben tres elementos, de forma progresiva:

- Quejas físicas.
- Debilitamiento de los procesos cognitivos y motivacionales.
- Somnolencia o sopor.

Grandjean y Kogi (1971) enfatizan la función protectora de estas sensaciones, al inducir la evitación de mayor estrés y fomentar la adopción de procesos de recuperación.

Desde la perspectiva de la neurociencia cognitiva, la fatiga mental es un decremento en el funcionamiento de centros cerebrales debido a la excesiva prolongación de una tarea controlada, según estos autores, por los sistemas responsables del *arousal* y la inhibición, aunque la perspectiva actual es mucho más compleja: existen diversos sistemas de arousal basados en cuatro sistemas neurotransmisores: noradrenérgico, serotoninérgico, dopaminérgico y colinérgico. Su balance funcional en condiciones específicas es la base de la acción; este balance se establece en base a demandas particulares de la tarea a realizar y los recursos de la persona, y difiere en cada tipo de actuación. La fatiga mental se iniciaría en la incapacidad de establecer dicho balance.

El segundo factor crucial en la fatiga mental es el descenso en los procesos atencionales. Hay tres redes atencionales: orientación (desencadenada en el lóbulo parietal, mantenida por el cerebro medio y focalizada sobre el objetivo por el pulvinar), ejecución (conciencia de la acción y control de ésta) y alerta (que tiene un papel crucial en la vigilancia de la tarea, y que inhabilita la red ejecutiva) (Posner, 1996).

Tradicionalmente (Mulder, 1986; Marek y Fafrowicz, 1993) se distinguen dos tipos de esfuerzo mental, uno relacionado con la dificultad de la tarea o complejidad de procesamiento y el otro con el control y ajuste de sus parámetros. El primero genera la esencia del esfuerzo mental en tanto que el segundo se relaciona con los esfuerzos de adaptación y compensación. Muchos autores subrayan que un elevado nivel de esfuerzo mental provocado por un alto nivel en la variabilidad y complejidad de la tarea es crucial para la aparición de la fatiga mental.

Dos cuestiones básicas aparecen: ¿está relacionada la carga mental con el metabolismo cerebral? y en ese caso la fatiga mental ¿es una consecuencia del agotamiento de la energía metabólica cerebral? Las neuronas consumen más oxígeno y glucosa cuando las demandas de procesamiento son elevadas (complejidad de la tarea o estímulo). Sin embargo, no hay evidencia de límites en los recursos energéticos debidos a esfuerzos mentales, por lo que la fatiga mental no sería una consecuencia del agotamiento de la energía metabólica cerebral, sino que se trataría de un proceso preventivo de ese agotamiento.

Los diseñadores de sistemas complejos deben reconocer que las personas no están tan limitadas y, por lo tanto, no conviene eliminar tantas partes de las tareas como sea posible (por ejemplo automatizando), puesto que pueden generar una percepción de infracarga que deje a la persona con un conjunto de tareas incoherentes o inconexas que no han podido automatizarse. Las tareas deben diseñarse utilizando la tecnología existente para aprovechar la flexibilidad y habilidades que sólo poseen los operadores humanos (Meshkatti, Hancock y Rahimi, 1990).

En tanto que la carga física debe minimizarse, la mental debe optimizarse. La ejecución humana se encuentra en su nivel óptimo cuando las demandas están armonizadas con las capacidades (ISO 10 075-2, 1996).

## Error humano

Siguiendo a uno de los principales investigadores en este tema (Reason, 2001), el error sería la desviación de la conducta humana en relación a un estándar pretendido, deseado o ideal, que no tiene porqué resultar en efectos nocivos o inconsecuentes (como sería el caso del aprendizaje por ensayo-error). Los errores no son intrínsecamente perniciosos, pero sí pueden serlo sus consecuencias, o las condiciones en las que se generen.

Hasta mediados de los años 70 no se estudiaban los errores en sí mismos, salvo notables excepciones:

1. La reaparición del esquema de Bartlett (1932) que proponía que todo tipo de conocimiento estaba en la memoria a largo plazo, en forma de estructuras activas y organizadas (*schemata*). Si la información procesada, proveniente del exterior no proporcionaba inputs adecuados a estas estructuras de conocimiento, se procesaba por defecto o de forma estereotipada; es decir, muchos tipos de error se podían catalogar en base a la intrusión de hábitos.

2. La concienciación del elevado coste de los errores, especialmente en aquellos casos en los que pocas personas tenían un control centralizado sobre sistemas complejos. Pueden describirse (Reason, 2001) tres grandes etapas:

a) En las décadas de los años 50 y 60, el estudio de fallos técnicos, como son por ejemplo el fallo de maquinaria o de la integridad estructural de los fuselajes de aviación y tanques de presión.

b) En los años 70 y 80, el estudio del error humano, en forma de actos contra la seguridad cometidos por personas como causantes principales de accidentes mayores y menores.

c) Y finalmente a partir de los años 90, la de fallo del sistema, en la que se enfatiza la contribución situacional, organizativa, jerárquica y reguladora o reglamentadora para que se produzca dicho fallo. En la época actual las personas, como punto terminal de tecnologías peligrosas (pilotos, operadores de salas de control, oficiales de navíos, etc.), se contemplan como receptores de accidentes organizativos en lugar de como sus instigadores.

## Tipos de error humano

Existen diversas tipologías del error humano, en base a los diversos propósitos desde los que se han generado (Norman, 1981). Si consideramos el tipo de desviación del comportamiento esperado que se produce, según la complejidad del procesamiento de información implicado, podemos tipificarlos de forma muy amplia en

1. *Tropiezos o traspiés*: la desviación entre la representación interna de la conducta correcta (generada por el sistema vestibular o cerebelo) y una desviación brusca de la postura corporal vertical. El sistema nervioso los detecta e intenta corregir inmediatamente, automáticamente, sin la intervención de ningún proceso de decisión consciente.

2. *Actos fallidos (deslices) y lapsus*: los actos fallidos son desviaciones no intencionadas de la acción. Pueden ocurrir durante niveles inadecuados de concentración o atención, por exceso o por defecto. Son fácilmente detectables tanto por la persona que los padece, y observables desde el exterior. Acostumbran a producirse durante la ejecución de una acción habitual, en contextos familiares; precisan de un marcado grado de captura atencional asociada con preocupación interna o distracción externa. Se producen por la enorme facilitación del procesamiento de información que supone la tendencia a considerar los beneficios de implementar rutinas en las acciones habituales, y raramente pueden generar consecuencias graves.



Los lapsus se asocian comúnmente con errores mnémicos, bien sea por olvido o incapacidad de recordar (recuperar) un elemento de la memoria. Acostumbran a ser elementos de procesamiento interno, aunque sus consecuencias son, en ocasiones, observables desde el exterior y la mayor parte de las veces solamente pueden verificarse a posteriori (cuando «recordamos» algo que deberíamos, o no, haber hecho).

3. Equivocaciones: Tienen lugar en el nivel más elevado de planificación, cuando la desviación ocurre en el curso de una acción seleccionada y el objetivo a alcanzar es incierto, incluso después de sucedido. Son extremadamente difíciles de detectar y corregir. Los planes de acción se rigen generalmente por reglas, regulaciones y procedimientos, aunque pueden implementarse controles internos y externos (escritos o memorizados) pueden aparecer en forma de procedimientos adecuados o inadecuados para una determinada situación, aunque observaremos situaciones en las que los procedimientos o reglamentaciones son inexistentes (denominados como «nivel básico de conocimiento» por Rasmussen 1982, 1986). Las equivocaciones pueden tipificarse como

a) *Equivocaciones por ilegalidad*, como fue el caso de la central nuclear de Chernobyl, en la que los operadores claramente persistieron con la comprobación del sistema eléctrico en un régimen extremadamente bajo y peligroso de potencia, y posteriormente fueron desactivando los sucesivos sistemas de seguridad. En general, muchos errores de este tipo tienen como resultado consecuencias graves y, dado que «facilitan» o simplifican las operaciones, se convierten en procedimientos habituales, creando el sustrato para mayores desviaciones.

b) *Equivocaciones por analogía*: se trata de la aplicación de procedimientos habitualmente correctos en circunstancias en las que no deberían adoptarse, obviando las contraindicaciones. Se trataría, por ejemplo, de frenar bruscamente sobre un firme helado, para intentar no atropellar a un peatón.

c) *Equivocaciones por uso de procedimientos inadecuados*: muchas personas adquieren el hábito de aplicar procedimientos inadecuados en base a su probabilidad o verosimilitud para poder funcionar correctamente (por ejemplo, emplear elementos obsoletos o no contrastados, o no substituirlos al efectuar una reparación, porque «aún aguantarán»).

d) *Equivocaciones por resistencia al error*: algunos procedimientos pueden mostrarse como improductivos, ininteligibles, incorrectos, ambiguos o inalcanzables, en base a que han sido redactados por personas que no realizan habitualmente las tareas, provocando errores por sí mismos, o, en el caso de que la persona que realiza la tarea genere sus propios procedimientos alternativos sobre la marcha. Tal sería el caso observado con muchos manuales de utilización de electrodomésticos, etc..

e) *Tendencia a la equivocación*: se trata de efectuar determinadas acciones cuando se sabe que pueden resultar en desviaciones, aunque en otras ocasiones y procediendo «con cuidado» se han evitado.

f) *Improvisaciones*: En determinadas circunstancias sucede un evento no previsto, como fue el caso de la fuga del tanque de oxígeno de la nave Apolo 13; en estos casos las personas puede incurrir en alguna de las tipologías descritas anteriormente o bien intentar «cualquier cosa» con elevadas probabilidades de

cometer un error, debido a la fuerte presión que la situación ejerce sobre ellas. Evidentemente el grado de experiencia que se posea sobre la tarea o situaciones similares disminuirá las probabilidades de resultar en consecuencias graves. Podría discutirse la inclusión de esta categoría como tipo de error, dada la novedad de la situación en la que se produce, pero el modo de operar de la persona implicada dará como resultado el éxito o el fracaso.

## Carga mental y procesamiento de información

O'Donnell y Eggemeier (1986) definían la carga mental como «la parte de la capacidad limitada del operador que se requiere en un momento dado para realizar una determinada tarea»; si ésta excede los recursos disponibles, su realización es defectuosa.

Gopher y Donchin (1986) añaden «es claramente un atributo del procesamiento de información y del control de sistemas que media entre los estímulos, reglas y respuestas. Es un atributo del bucle persona-tarea, y sus efectos pueden examinarse solamente en relación con un modelo de procesamiento de información humana».

Para Wilson y Eggemeier (2001), la carga mental es un constructo multidimensional, que hace referencia a la habilidad de una persona para enfrentarse con las demandas impuestas por el procesamiento de información de una tarea o sistema.

En muchas ocasiones, las personas deben trabajar con representaciones mentales, internas, del sistema con el que están interactuando. Estos modelos pueden variar en su nivel de abstracción y se construyen en base a la observación del sistema, conocimiento de la operativa, procesos de mantenimiento y emergencia, instrucciones y entrenamiento o incluso de experiencias similares en el pasado.

Esta concepción se ha mostrado sumamente atractiva para la ergonomía dado que, si podemos describirlos y transmitirlos a los diseñadores, las interfaces del diseño se ajustarán mucho mejor a las expectativas de las personas que operan los sistemas (Wilson, 2001).

Como ya hemos descrito, no existe una definición clara y consensuada de lo que sería un modelo mental desde la perspectiva de la ergonomía, y aún menos en el caso de que lo intentáramos asimilar a la concepción que podría derivarse de la psicología cognitiva, pero sus características serían, desde la perspectiva de la primera:

- Una representación mental (interna) de objetos, acciones, situaciones o personas.
- Elaborada en base a la experiencia y/o observación del mundo en general y de las entidades particulares de interés.
- Se trata de simulaciones mentales que producen inferencias cualitativas
- Sustentan nuestra comprensión de un sistema y permiten por tanto describir, predecir y explicar su comportamiento

- Constituyen la topografía, estructura, función y operación del sistema.
- Contienen relaciones espaciales, causales y contingentes.
- Pueden contener *schemata* agrupados.
- Se actualizan cada vez que se usan, con lo que varían a lo largo del tiempo.
- Son parsimoniosos: se desarrollan únicamente hasta los requisitos mínimos requeridos para cada caso en particular.
- Son incompletos, inestables, múltiples y plurales.

Los modelos de procesamiento de información han evolucionado desde mediados del siglo pasado, en gran parte debido al trabajo de investigadores en el campo militar (Carswell y Stephens, 2001). Muchos de estos modelos comparten elementos comunes: el uso de la metáfora del ordenador (que asume fuertes similitudes entre el pensamiento humano y el funcionamiento de un ordenador), el planteamiento de estadios secuenciales por los que la información discurre y es modificada, y que en función de su eficiencia determinará la ejecución cognitiva promedio de la persona, las representaciones o codificaciones mentales de la información, los límites en capacidad de almacenamiento y velocidad. En tanto que los primeros modelos intentaban identificar filtros, los más recientes se dirigen a técnicas de diseño y entrenamiento que reduzcan el impacto de estos límites (Wickens, 1992).

Craik (1943) inició la idea de que las personas elaboran modelos mentales de su entorno, y desde el punto de vista de la ergonomía se ha considerado como un hecho evidente desde el principio (Edwards y Lees, 1974). Los modelos mentales tienen sus paralelismos en otros campos de investigación (mapas mentales, etc.) y se han convertido en un elemento crucial para la investigación de la interacción persona-ordenador (Allen, 1997). La evolución del concepto desde las perspectivas ergonómica y cognitiva ha seguido derroteros distintos, probablemente debidos a sus distintos objetivos: explicar el comportamiento y optimizar los diseños, aunque desde la ergonomía se intenta adaptar conceptos derivados de la psicología cognitiva y en los últimos años se ha observado un progresivo acercamiento de ambas perspectivas, como evidencia Norman (1983).

Otro nivel de confusión puede residir en la consideración de si se trata de modelos de un tipo de persona, o de modelos utilizados por una persona. En el primer caso se trataría de un modelo de usuario, que podría contener diversos modelos mentales que la persona utilizaría en su actividad.

Por otra parte se plantea el problema de la descripción de los modelos mentales, generalmente hecha en base a la obtención de datos básicos, derivados, interpretados o inducidos de las respuestas de las personas, observándose en otros casos la ausencia de la descripción del procedimiento de obtención y/o elaboración del modelo. Las ideas preconcebidas aparecen a menudo de forma subyacente a dichos modelos. Rutherford y Wilson (1991) sugieren que los modelos mentales deberían basarse en los datos primarios y el conocimiento del investigador para, posteriormente, comprobar su validez a través de un diseño experimental adecuado.

En conclusión, si bien la modelización de procesos mentales se ha utilizado ampliamente en ergonomía, ni su definición, ni los procesos empleados

para su elaboración, son claros o concluyentes. La confluencia de las aportaciones de la psicología cognitiva y su mayor énfasis en la metodología empleada para su desarrollo, conjuntamente con la necesidad y la perspectiva inductiva de la ergonomía parece que avanzan con mayor aproximación entre ambos y sus respectivas aportaciones revisten cada vez mayor validez ecológica y fundamentación teórica, respectivamente (Vicente, 2000).

## Normalización

En el año 1975, la ISO (*International Organization for Standardization*) estableció un Comité Técnico específico sobre Ergonomía (TC159). La primera norma aprobada por este Comité, basada en una norma alemana, fue un conjunto de guías de diseño de sistemas de trabajo (ISO 6385:1981 *Ergonomic principles to the design of work systems*).

Un resultado importante de la norma ISO 6385 es que preconiza considerar la carga mental como un elemento existente, y que se debe tener en cuenta en cualquier diseño de tarea, es decir, no únicamente en las tradicionalmente consideradas como cognitivas y mentales, sino en cualquier tipo de actividad humana.

Otra consideración importante de esta norma es la diferenciación que propone entre el concepto de «*stress*» (tensión) y el concepto de «*strain*» (presión). El «*stress*» está asociado a todas aquellas influencias que provienen de fuentes externas y que afectan a la persona a nivel mental; el concepto «*strain*» se relaciona en cambio con la respuesta interna del organismo de una persona frente al efecto inmediato del estrés mental.

En esta norma se indican los principios generales de lo que se puede denominar el «diseño ergonómico». A raíz de esta publicación se vio la necesidad de ampliar este tipo de guías para abarcar áreas de análisis específicas, aunque sin pretender dar respuesta a situaciones concretas. Se procuró sin embargo proporcionar orientaciones a los responsables del diseño de sistemas de trabajo.

Por esta razón, el Subcomité 1 del Comité Técnico 159 (Subcomité «*Ergonomic guiding principles*» SC1), estableció en 1983 el Grupo de Trabajo 2 «*Ergonomic principles related to mental work-load*» (WG 2). Este grupo de trabajo fue encargado de establecer una norma que describiera los principios ergonómicos generales de la carga mental.

Paralelamente, en Alemania se trabajaba para acotar la terminología relacionada con la carga mental. Por ello, cuando el Grupo de Trabajo WG2 inició su actividad, se basó ampliamente en el trabajo reflejado por la Norma DIN 33 405 de febrero de 1987. Una de las razones que hicieron que se tomara muy en cuenta la norma alemana es la compatibilidad y consistencia de la norma DIN con el modelo *Stress-Strain* descrito en la norma ISO 6385 (norma básica y consensuada por todo el grupo de trabajo de ergonomía). Fue en 1991 cuando, después de diversas tentativas, se pudo finalmente aprobar la versión definitiva de la ISO 10 075 (definiciones y conceptos generales de la carga mental).

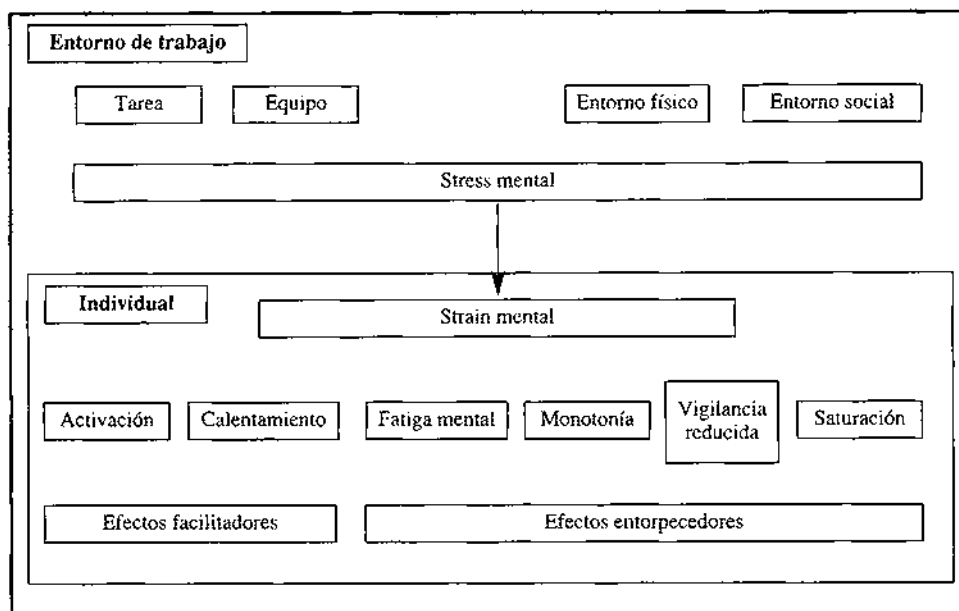


Figura 2. Modelo de efectos stress-strain. Adaptado de la ISO 10 075.

A lo largo de las reuniones del Grupo de Trabajo WG2 se constató la necesidad de ampliar las guías propuestas por la norma ISO 10 075, por lo que fue necesario dividirla en tres partes: la Parte I (equivalente a la norma original sobre términos y conceptos, pero revisada), la Parte II (ISO 10 075-2, sobre guías para el diseño), y la Parte III (ISO 10 075-3, sobre métodos de evaluación).

En 1996 y después de 6 años de desarrollo se publicó la ISO 10 075-2. En este caso no se basa en ninguna norma nacional y proporciona las guías básicas a considerar para el diseño de puestos de trabajo, desde la perspectiva de la *optimización* de la carga mental.

En la introducción de esta norma se pone de manifiesto que la infracarga o la sobrecarga no son conceptos únicos y unidimensionales sino que, en el diseño de sistemas de trabajo, existen diferencias cualitativas en la carga de trabajo que deben ser tenidas en cuenta. Las guías de diseño propuestas variarán en función de los efectos que se pretenden reducir (fatiga mental, monotonía, hipovigilancia y saturación mental) y de los niveles del diseño (tarea, equipos, entorno y organización). En el caso de la fatiga mental, la norma incluye aspectos como la ambigüedad de objetivos, la presentación de la información, la presión temporal, etc..

Mención aparte merece el proceso que se está siguiendo para que las Partes I y II, aprobadas como normas ISO, sean adoptadas como Normas Europeas CEN

(lo que daría lugar a su vez al análisis de la respectiva normativa específica a transponer y aplicar en cada país miembro). En síntesis cabría decir que este proceso, iniciado hace años, aún no ha dado resultados concretos en el momento de redactar este artículo. Dentro del proceso normal de revisión interna de las normas ISO, que se lleva a cabo cada cinco años, será necesario verificar si existe acuerdo sobre la Parte I para que sea aceptada por todos los países y, además, llegar a un acuerdo entre los Estados Miembros para que la Parte II pueda ser aceptada.

La norma ISO 10 075-3 «Medición y evaluación de la carga mental» no está aprobada todavía, entre otras razones, como ya se ha indicado anteriormente, por la evidente dificultad que supone proporcionar orientaciones o guías sobre cómo evaluar la carga mental en los distintos entornos que configuran cada tipo de tarea. Por esta razón el Grupo de Trabajo (ISO TC 159/SC 1/ WG 2) no pretende proponer una norma sobre métodos o instrumentos de evaluación o medida de la carga mental, sino que prepara una norma sobre los requisitos que deben cumplir este tipo de métodos o instrumentos (Nachreiner, 1999).

El documento de trabajo que se está elaborando, y que se encuentra aún en fase de borrador, se basa en un modelo tridimensional que permitiría ubicar los distintos tipos de medida. La primera dimensión indicaría el punto que se pretende analizar en el proceso descrito como tensión-presión-efectos. En la segunda dimensión se ubicarían las distintas técnicas de medida (comentadas con anterioridad en este artículo): análisis de la tarea, evaluación del rendimiento, escalas subjetivas y parámetros fisiológicos. Por último, la tercera dimensión indicaría el nivel de precisión de la medida: inicial o de mayor precisión (para expertos). Estas tres dimensiones no serían completamente ortogonales, por lo que resultaría difícil situar ciertas técnicas específicas en algunas de las combinaciones resultantes; sin embargo, en otros casos el modelo podría ser realmente útil.

Por otro lado, aún no están definidos los criterios con los que se validarán los distintos instrumentos de medida. Precisamente éste es uno de los puntos que hace más difícil llegar a un consenso sobre las técnicas que se deberían recomendar, lo que, añadido a la posible modificación de la Parte I y en consecuencia de la Parte II, impide que de momento podamos disponer de normas internacionales que nos orienten de una manera efectiva en la tarea de análisis y evaluación de la carga mental en los puestos de trabajo.

## REFERENCIAS

- Allen, R. B. (1997). Mental models and user models. En Helander, Landauer & Brabhu (Eds.), *Handbook of Human-Computer Interaction*. Oxford: Elsevier. 4963
- Arquer, I. & Nogareda, C. (1999). *Estimación de la carga mental de trabajo: el método NASA TLX*. Madrid: INSHT NTP 544.
- Arquer, I. & Nogareda, C. (2000). *Carga mental de trabajo: indicadores*. Madrid: INSHT. NTP 575.
- Artazcoz, L. (2001). Factores de riesgo psicosocial y carga mental: ¿estamos midiendo lo mismo o son conceptos diferentes? *Archivos de Prevención de Riesgos Laborales*, 4, 3, 9-10.
- Bartenwerfer, H. (1970). Psychische Beanspruchung und Ermüdung. En Mayer & Herwing (Dir.), *Handbuch der Psychologie*. Göttingen: Hogrefe. Citado por Hacker (1998).
- Bartlett, F.C. (1932). *Remembering: A Study in Experimental and Social Psychology*. Cambridge: Cambridge Univ. Press.
- Broadbent, D. (1958). *Perception and Communications*. New York: Pergamon.

- Carswell, C. M. & Stephens, E.C. (2001). Information Processing. En Karwowski (Ed.), *International Encyclopedia of Ergonomics and Human Factors* (pp. 256-259). London & New York: Taylor & Francis.
- Cerella, J. (1991). Age effects may be global not local: comments on Fisk & Rogers. *Journal of Experimental Psychology: General*, 120, 215-233.
- Chase, B. (2001). Mental Workload under Thermal Stress. En Karwowski (Ed.), *International Encyclopedia of Ergonomics and Human Factors* (pp. 1026-1028). London & New York: Taylor & Francis.
- Cooper, G. E. & Harper, R. P. (1969). *The Use of Pilot Rating in the Evaluation of Aircraft Handling*. Report nº ASD-TR-76-19. Moffett Field: NASA.
- Craik, K. J. W. (1943). *The Nature of Explanation*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Cremer, R. (2001). Mental Workability and an Increasing Life Span. En Karwowski (Ed.), *International Encyclopedia of Ergonomics and Human Factors* (pp. 497-499). London & New York: Taylor & Francis.
- Dalmau, I. & Nogareda, S. (1998). *Evaluación de las condiciones de trabajo: métodos generales*. Madrid: INSHT. NTP 451.
- Deutsch, J. & Deutsch, D. (1963). Attention: Some Theoretical Considerations. *Psychological Review*, 70, 1, 80-90.
- Edwards, E. & Lees, F. P. (Eds.) (1974). *The Human Operator in Process Control*. London: Taylor & Francis.
- Eggemeier, F.T. & Wilson, G. F. (1991). Performance-based and subjective assessment of workload in multi-task environments. En Damos (Ed.), *Multiple-Task Performance* (pp. 217-278.). London: Taylor & Francis.
- Ehlers, K., Nachreiner, F. & Hänicke, K. (1986). Entwicklung un Überprüfung einer Skala zur Erfassung subjektiv erlebter Anstrengung. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 40, 215-224. Citado por Hacker (1998).
- Ferrer, R. (1997). *Tècniques d'Ergonomia*. Barcelona: Edicions UB.
- Gopher, D. & Donchin, E. (1986). Workload: an examination of the concept. En Boff, Kaufman & Thomas (Eds.), *Handbook of Perception and Human Performance*, vol 2, *Cognitive Processes and Performance* (pp. 41.1-41.49). New York: John Wiley.
- Grandjean, E & Kogi, K. (1971). Introductory remarks. En Hashimoto, Kogi & Grandjean (Eds.), *Methodology in Human Fatigue Assessment* (pp. 17-30). London: Taylor & Francis.
- Hacker, W. (1998). Carga mental de trabajo. En Stellman (Ed.), *Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo*. Madrid: Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales. 29.44-29.46
- Hamilton, D. B.; Bierbaum, C. R. & Fulford, L. A. (1990). *Task Analysis/Workload (TAWL) user's guide - versión 4.0*. Report nº ASI690-330-90-B. Fort Rucker, AL: Anacapa Sciences, Inc.
- Hancock, P.A. & Chignell, M. H. (1986). *Towards a Theory of Mental Work Load: Stress and Adaptability in Human-Machine Systems. Proceedings of the IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*. New York: IEEE Society.
- Hancock, P. A. & Meshkati, N. (1988). *Human Mental Workload*. Amsterdam: North Holland.
- Hart, S. G. & Staveland, L. E. (1988). Development of NASA-TLX (Task Load Index): results of empirical and theoretical research. En Hancock & Meshkati (Eds.), *Human Mental Workload* (pp. 139-183). Amsterdam: North Holland.
- ISO 6385 (1981). *Ergonomic principles in the design of work systems*. Geneva: ISO.
- ISO 10 075 (1991). *Ergonomic principles related to mental work-load - General terms and definitions*. Geneva: ISO.
- ISO 10 075-2 (1996). *Ergonomic principles related to mental work-load- Part 2: Design principles*. Geneva: ISO.
- Kahneman, D. (1973). *Atención y esfuerzo*. Madrid: Biblioteca Nueva.
- Kramer, A. (1991). Physiological metrics of mental workload: A review of recent progress. En Damos (Ed.), *Multiple-Task Performance* (pp. 279-328). London: Taylor & Francis.
- Marck, T. (2001). Mental Fatigue and Related Phenomena. En Karwowski (Ed.), *International Encyclopedia of Ergonomics and Human Factors* (p. 491-492). London & New York: Taylor & Francis.
- Marek, T. & Fafrowicz, M. (1993). Changes in attentional disengagement process under repetitive visual discrete tracking task measured by oculographical index. En Marras, Karwowski, Smith & Pacholski (Eds.), *The Ergonomics of Manual Work* (pp. 399-402). London: Taylor & Francis.
- McMillan, G. R., Beevis, D., Salas, E., Strub, M. H., Sutton, R. & Van Breda, L. (Eds.) (1989). *Applications of Human Performance Models to System Design*. New York: Plenum.
- Meshkati, N., Hancock, P. A. & Rahimi, M. (1990). Techniques in mental workload assessment. En Wilson & Cortlett (Eds.), *Evaluation of Human Work: A Practical Ergonomics Methodology* (pp. 605-627). London: Taylor & Francis.
- Meyer, D. & Kieras, D. (1997). A computational Theory of Executive cognitive Processes and Multiple-Task Performance: Part I. Basic Mechanisms. *Psychological Review*, 86, 3, 214-255.
- Mulder, G. (1986). The concept and measurement of mental effort. En Hockey, Coles & Gaillard (Eds.), *Adaptation to Stress and Task Demands: Energetical Aspects of Human Information Processing* (pp. 175-198). Dordrecht: Martinus Nijhoff.

- Nachreiner, F. (1999). *International Standards on mental work-load- The ISO 10075 series. International Health*, 37, 125-133.
- Norman, D. A. (1981). Categorization of action slips. *Psychological Review*, 88, 1-15.
- Norman, D. A. (1983). Some observations on mental models. En Gentner & Stevens (Eds.), *Mental Models* (pp. 7-14). Hillsdale: Erlbaum.
- O'Donnell, R. D. & Eggemeier, E. T. (1986). Workload assessment methodology. En Boff, Kaufman & Thomas (Eds.), *Handbook of Perception and Human Performance*, vol 2, *Cognitive Processes and Performance* (pp. 42.1-42.49). New York: John Wiley.
- Posner, M. J. (1996). Attention in cognitive neuroscience: An overview. En Gazzaniga (Ed.), *The Cognitive Neurosciences* (pp. 703-720). Cambridge, MA: MIT Press.
- Ramsey, J. D. (1995). Task performance in heat: a review. *Ergonomics*, 38, 154-165.
- Rasmussen, J. (1982). Human Errors: A taxonomy for describing human malfunctions in industrial installations. *Journal of Occupational Accidents*, 4, 311-335.
- Rasmussen, J. (1986). *Information Processing and Human-Machine Interaction*. Amsterdam: North-Holland.
- Reason, J. (2001). Human Error. En Karwowski (Ed.), *International Encyclopedia of Ergonomics and Human Factors* (pp. 463-465). London & New York: Taylor & Francis.
- Reid, G. B. & Nygren, T. E. (1988). The subjective workload assessment technique: A scaling procedure for measuring mental workload. En Hancock & Meshkati (Eds.), *Human Mental Workload* (pp. 185-218). Amsterdam: North Holland.
- Richter, P. (1998). Fatiga mental. En Stellman (Ed.), *Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo* (29.50-29.51). Madrid: Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales.
- Rutherford, A. & Wilson, J. R. (1991). Searching for the mental model in human-machine systems. En Rogers, Rutherford & Bibby (Eds.), *Models in the Mind: Perspectives, Theory and Application*. London: Academic Press.
- Rudolph, E., Schönfelder, E. & Hacker, W. (1987). *Tätigkeitsbewertungssystem für geistige arbeit mit und ohne Rechnerunterstützung (TBS-GA)*. Berlin: Psychodiagnostisches Zentrum der Humboldt-Universität. Citado por Hacker (1998).
- Sorin, J. (2003). *Adaptación de pilotos al glass-cockpit*. Tesis doctoral. Barcelona: UPC.
- Sternberg, S. (1969). The discovery of processing stages: Extensions of Donders method. *Acta Psychologica*, 30, 276-315.
- Tsang, P. S. (1994). The Roles of Immediacy and Redundancy in Relative Subjective Workload Assessment. *Human Factors*, 36 (3), 503-513.
- Tsang, P. S. (2001). Mental Workload. En Karwowski (Ed.), *International Encyclopedia of Ergonomics and Human Factors* (pp. 500-503). London & New York: Taylor & Francis.
- Tsang, P. S. & Wilson, G. F. (1997). Mental Workload measurement and analysis. En Salvendy (Ed.), *Handbook of Human Factors and Ergonomics* (pp. 417-449) (2<sup>a</sup> ed.). New York: Wiley.
- Vicente, K. J. (2000). *Cognitive work analysis: Research and applications*. Proceedings of the IEA 2000/HFES 2000 Congress, 1.193.
- Welford, A. T. (1986). Mental workload as a function of demand, capacity, strategy and skill. *Ergonomics*, 21, 151-176.
- Wickens, C. D. (1984). *Engineering Psychology and Human Performance*. Columbus: Charles E. Merrill.
- Wickens, C. D. (1992). *Engineering Psychology and Human Performance* (2<sup>a</sup> ed.). New York: Harper Collins.
- Wickens, C. D. & Yeh, Y. Y. (1983). *The dissociation between subjective workload and performance: A multiple resources approach*. Actas del 27<sup>o</sup> Congreso de la Human Factors Society. Santa Monica, CA: Human Factors Society.
- Wieland-Eckelmann, R. (1992). *Kognition, Emotion und Psychische Beanspruchung*. Göttingen: Hogrefe. Citado por Hacker (1998).
- Wierwille, W. W. & Casali, J. G. (1983). *A validated rating scale for global mental workload measurement applications*. Proceedings of the 27th Annual Meeting of the Human Factors Society, Santa Monica, CA: Human Factors Society.
- Wierwille, W. W. & Eggemeier, F. T. (1993). Recommendations for mental workload measurements in a test and evaluation environment. *Human Factors*, 35 (2), 263-281.
- Wilson, J. R. (2001). Mental Models. En Karwowski (Ed.), *International Encyclopedia of Ergonomics and Human Factors* (pp. 493-496). London & New York: Taylor & Francis.
- Wilson, G. F. & Eggemeier, F. T. (1991). Physiological measures of workload in multi-task environments. En Damos (Ed.), *Multiple-Task Performance* (pp. 329-360). London: Taylor & Francis.
- Wilson, G. F. & Eggemeier, F.T. (2001). Mental Workload Measurement. En Karwowski (Ed.), *International Encyclopedia of Ergonomics and Human Factors* (pp. 504-506). London & New York: Taylor & Francis.



- Yeh, Y. Y. & Wickens, C. D. (1988). Dissociation of Performance and Subjective Measures of Workload. *Human Factors*, 30 (1), 111-120.
- Yerkes, R. M. & Dodson, J. D. (1908). The relation of strength of stimulus to rapidity of habit-formation. *Journal of Comparative Neurology of Psychology*, 18, 459-482.
- Young, M. S. & Stanton, N. A. (2001). Mental Workload: Theory, Measurement and Application. En Karwowski (Ed.), *International Encyclopedia of Ergonomics and Human Factors* (pp. 507-509). London & New York: Taylor & Francis.