

Memoria sensorial, a corto plazo y operativa

- El modelo modal
- Memoria sensorial y percepción
- El papel del conocimiento y del contexto en la percepción
- La atención
- Memoria a corto plazo y memoria operativa
- Neurociencia cognitiva y memoria operativa
- Evaluación de la memoria operativa
- Consecuencias para la instrucción: orientación y guía de la atención
- Resumen
- Lecturas recomendadas

La memoria siempre ha fascinado a los humanos. El estudio científico de la memoria es, sin embargo, un tema relativamente reciente, que se remonta más de 125 años hasta el trabajo pionero de Hermann Ebbinghaus (1850-1909), *Über das Gedächtnis* (Sobre el olvido), publicado por primera vez en 1885. La genial idea de Ebbinghaus fue reducir el estudio de la memoria a sus formas más elementales, listas de sílabas sin significado (por ejemplo: FOH y TAF). Ebbinghaus comprobó cuidadosamente a intervalos regulares su propio aprendizaje de sílabas, anotando cuánto recordaba y olvidaba y su facilidad para reaprender la información que olvidaba.

La tradición de la investigación de la memoria comenzada por Ebbinghaus marcó el estudio de la memoria durante casi un siglo (MacLeod, 1988). Hoy en día, nuestra concepción de lo que constituye un estudio válido de la memoria se ha ampliado considerablemente. La investigación de la memoria ha trascendido el laborioso estudio de cómo son recordadas las palabras y los hechos aislados y se concentra, en su lugar, en la memoria de fragmentos complejos de información, como la esencia de un artículo de periódico o un texto técnico como éste.

La investigación de la memoria también ha desarrollado numerosas ramas distintas. Una de ellas se centra en el desempeño de la memoria durante el aprendizaje. La mayor parte de los investigadores se refieren a esto como **memoria operativa**. Este capítulo examina en detalle esta investigación y sus implicaciones. Una segunda rama de investigación se centra en los contenidos y el funcionamiento de la información permanentemente almacenada, comúnmente denominada **memoria a largo plazo**, tratada en el Capítulo 3. Una tercera rama de investigación examina la relación entre la memoria y la fisiología del cerebro. A pesar de su importancia e interés, la mayor parte de esa investigación queda fuera del alcance de este libro.

En este capítulo introducimos un modelo general de la memoria al que nos referimos como el **modelo modal** (Healy y McNamara, 1996). El modelo modal incluye diversos componentes de la memoria, cada uno de los cuales desarrolla una tarea concreta, así como los distintos engranajes de un automóvil realizan tareas distintas. Nuestro objetivo es proporcionar una visión general del modelo modal y por qué es importante para el estudio del aprendizaje. A continuación trataremos la memoria sensorial, el componente inicial de la memoria que percibe, reconoce y asigna significado a los estímulos entrantes. Después consideraremos la memoria a corto plazo, el banco de trabajo de la mente, y describiremos cómo el concepto de memoria a corto plazo ha sido sustituido por el concepto de memoria operativa. Finalmente, consideraremos las implicaciones prácticas de la investigación de la memoria operativa para el aprendizaje.

Este capítulo se centra en la memoria sensorial y la memoria a corto plazo. Creemos que hay tres obstáculos para el aprendizaje eficaz. Uno es el efecto de cuello de botella que ocurre en la memoria sensorial y en la memoria a corto plazo. Puesto que estas dos dimensiones de la memoria son de capacidad limitada y corta duración, sólo una pequeña cantidad de información puede ser procesada simultáneamente. El segundo obstáculo es adquirir y organizar una base de conocimientos en la memoria a largo plazo, que puede almacenar grandes cantidades de información indefinidamente. El tercero es construir conocimiento metacognitivo (conocimiento sobre los contenidos y la regulación de la memoria) que permita a los estudiantes usar su memoria con eficiencia. Este capítulo se centra en el primer obstáculo, el Capítulo 3 en el segundo y los Capítulos 4 y 5 en el tercero.

El modelo modal

Los investigadores de la memoria tradicionalmente han dividido los procesos de la memoria en las etapas de adquisición, almacenamiento y recuperación. Para crear un recuerdo nuevo es necesario adquirir e incorporar al sistema información de algún modo. La información también debe ser almacenada y recuperada cuando sea necesario. En la década de 1950, los científicos cognitivos empezaron a crear modelos que reconocían estas fases, sus modelos también reflejaban claramente la creciente influencia del ordenador como metáfora para la cognición humana. Estos modelos se conocen colectivamente como **modelos del procesamiento de la información** (Atkinson y Shiffrin, 1968; Waugh y Norman, 1965) y sus características comunes como el modelo modal. Aunque nuevos modelos de la memoria continúan evolucionando, el modelo modal proporciona un organizador útil a la hora de pensar sobre la memoria.

La Figura 2.1 presenta un diagrama esquemático del modelo modal. El principal presupuesto del modelo es que la información es procesada mediante una serie de sistemas de memoria discretos, cada uno de los cuales realiza una función determinada. Aunque esta idea se remonta a la distinción entre memorias primaria y secundaria de William James, no alcanzó su total importancia en la teoría del procesamiento de la información hasta la publicación del importante artículo “The Magic Number Seven, Plus-or-Minus Two” (El Mágico Número Siete, Más o Menos Dos) de George Miller (1956). La **memoria sensorial** se refiere, en este esquema, al procesamiento perceptivo inicial que identifica los estímulos entrantes. La información que ha sido procesada en la memoria sensorial pasa entonces a la memoria a corto plazo, donde sufre un procesamiento adicional basado en el significado. La información que es relevante para nuestros objetivos es entonces almacenada indefinidamente en la memoria a largo plazo hasta que vuelve a ser requerida.

Clarificar el papel de cada sistema de memoria es tan solo parte de nuestro objetivo. También buscamos entender cómo se transfiere la información entre los distintos sistemas de memoria. Resulta que los estudiantes competentes usan diversas estrategias de procesamiento de la información para trasladar la información nueva de la memoria a corto plazo a la memoria a largo plazo. Estos procesos, conocidos colectivamente como *procesos de codificación*, se comentan en detalle en el Capítulo 4. De

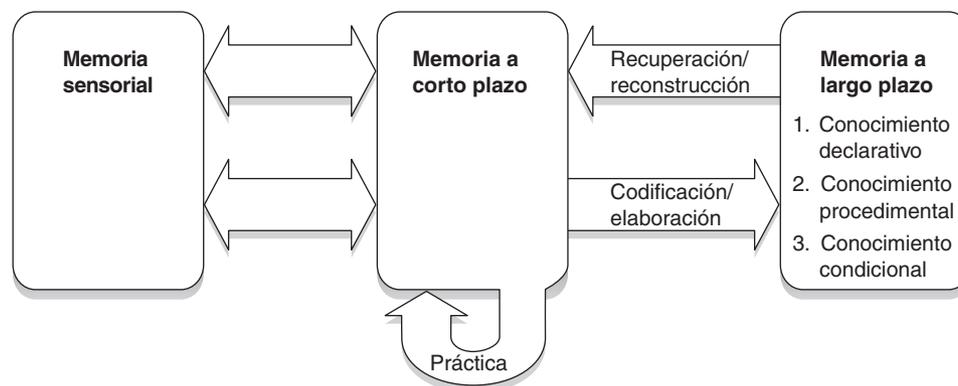


FIGURA 2.1 El modelo modal.

manera semejante, los procesos usados para acceder a la información en la memoria a largo plazo para su uso en la memoria a corto plazo se conocen como *procesos de recuperación* y se comentan en el Capítulo 5.

Versiones recientes del modelo del procesamiento de la información han añadido más componentes. Un ejemplo es que la memoria a corto plazo ha sido reemplazada por la memoria operativa (Baddeley, 2001, 2007), lo que crea una importante distinción entre los subprocesos en la memoria a corto plazo, que mantiene de modo pasivo la información, por contraposición a su procesamiento activo. Un segundo añadido es un bucle que conecta la memoria a largo plazo con la memoria sensorial. Este bucle permite que la información en la memoria permanente influya en el procesamiento de las percepciones iniciales. Un tercer añadido es la metacognición, que guía el flujo de información a través de los tres sistemas de memoria “inferiores”. Estos componentes son importantes porque nos permiten usar lo que ya sabemos para adquirir nuevos conocimientos, un fenómeno conocido como procesamiento arriba-abajo. En la versión original del modelo, el procesamiento de la información era abajo-arriba pues ninguno de los componentes “superiores” de la memoria, como la memoria a largo plazo o la metacognición, afectaba a los procesos iniciales de los componentes inferiores, como la memoria sensorial. En el modelo revisado, el procesamiento sensorial inicial está afectado por procesos de largo y corto plazo y por procesos metacognitivos simultáneamente.

Puede ser de ayuda considerar algunos de los principales presupuestos de la teoría del procesamiento de la información contemporánea que se refieren específicamente a la memoria sensorial y a la memoria a corto plazo.

1. *Los sistemas de memoria están funcionalmente separados.* Todos los estudios cognitivos del procesamiento de la información postulan dos o más sistemas de memoria globales que realizan funciones específicas. Se pensaba originalmente que estos sistemas eran metafóricos, es decir, que no se correspondían con ninguna región neurológica del cerebro ni con ningún proceso neurobiológico concreto. Estudios recientes en humanos y otros animales sugieren que las distinciones funcionales propuestas por los teóricos del procesamiento de la información pueden tener también un análogo biológico (Barrett y Kurzban, 2006).
2. *La atención es limitada.* La capacidad para realizar esfuerzo mental está limitada de varias maneras. Una es la **atención**, o la energía mental usada para percibir, pensar y comprender. Aunque existen diferencias individuales, la capacidad de atención de todo el mundo es extremadamente limitada (Just y Carpenter, 1992; Treisman, 2006). Los psicólogos cognitivos se refieren a este fenómeno como *capacidad de procesamiento limitada*. Es importante destacar, sin embargo, que los límites del

procesamiento de información pueden ser ampliados de maneras sorprendentes usando estrategias de “ahorro de capacidad” como el agrupamiento, la categorización o la elaboración (Ericsson, Chase, y Faloon, 1980; Radvansky, 2006).

3. *Los procesos cognitivos son a la vez automáticos y controlados.* La cognición eficiente es el resultado de usar nuestros propios recursos limitados adecuadamente. Algunas tareas requieren más recursos que otras, en parte por la complejidad de la tarea, pero también por cuán automatizados estamos al realizarla. La **automatización** se refiere a realizar cualquier actividad cognitiva (por ejemplo: recuperar significados de palabras, conducir un coche) de manera automática. Los procesos automáticos requieren muy poca capacidad de atención; de este modo, conseguimos algo a cambio de nada cuando somos automáticos (Barret, Tugade, y Engle, 2004; Stanovich, 2000; Sweller, 1999). A diferencia de los procesos automáticos, los **procesos controlados** requieren una porción de nuestros limitados recursos de atención. Un presupuesto es que el procesamiento controlado sólo puede ser aplicado en tareas de orden superior (por ejemplo: crear inferencias al leer) mientras que los procesos cognitivos básicos (por ejemplo: la descodificación de palabras y el análisis gramatical) son automáticos. Uno de los mejores ejemplos de proceso controlado es la atención selectiva, el proceso mediante el cual dedicamos todos nuestros limitados recursos a la información más importante ante nosotros.
4. *El significado se construye.* El procesamiento de la información es más que simplemente traducir información de estímulos físicos a una representación mental simbólica. Casi toda la información se transforma en el proceso (Kintsch, 1998). El significado se construye en base a conocimiento previo y en base al contexto en el que sucede la acción. Aunque la construcción del significado la realizan todos los componentes del sistema de procesamiento de información, gran parte de esto tiene lugar en la memoria a corto plazo. Las investigaciones sugieren que una vez que el significado está construido y ha sido enviado a la memoria a largo plazo, gran parte de la forma original de la información se ha perdido.

El modelo modal ha demostrado ser enormemente útil para investigadores y educadores por muchos motivos. Primero, el modelo nos ayuda a entender mejor el papel específico de los distintos componentes de la memoria. Segundo, el modelo ha generado enormes cantidades de investigación que contribuyen a la teoría y en la práctica. De hecho, muchos de los cambios actuales del modelo modal se deben a estas investigaciones. Tercero, el modelo modal hace una importante distinción entre *estructuras* de la memoria, como la memoria a corto plazo, y *procesos* de la memoria, como el codificado y la recuperación, que nos permiten mover la información en la memoria.

El modelo modal también tiene detractores. Una crítica es que el modelo propone tres estructuras separadas en la memoria que corresponden a la memoria sensorial, la memoria a corto plazo y la memoria a largo plazo. Muchos investigadores cuestionan este presupuesto por razones teóricas y empíricas. Un presupuesto mejor es que la memoria consta de muchas partes pequeñas relacionadas entre sí. Una segunda crítica es que el modelo modal implica que la información fluye a través de la memoria de forma lineal y unidireccional. Es decir, que la información entra en la memoria sensorial, procede a la memoria a corto plazo para un procesamiento adicional y entonces llega a la memoria a largo plazo. En realidad, los estudios indican que el procesamiento de la información es mucho más dinámico. La información en la memoria a largo plazo habitualmente influye el procesamiento inicial, y hay razones para pensar que la información se procesa simultáneamente en la memoria a corto plazo y en la memoria a largo plazo (Neath y Surprenant, 2003). Una tercera crítica es que el modelo modal no se corresponde con la estructura neurológica del cerebro. Se ha optado en teorías recientes por una analogía completamente diferente en la cual la memoria se ve como una red integrada de neuronas conectadas. Estas teorías se denominan modelos conexionistas y se comentan en el Capítulo 3.

A pesar de estas críticas, creemos que el modelo modal tiene una gran utilidad como metáfora para entender diversos aspectos de la memoria. Conviene tener en mente que el modelo modal es tan solo una manera de pensar sobre la memoria y que podrían proponerse muchos otros modelos alternativos.

Memoria sensorial y percepción

El modelo modal retrata a la memoria como un conjunto de sistemas de retención. La memoria sensorial es un sistema que retiene estímulos brevemente en registros sensoriales de modo que los análisis perceptivos puedan realizarse antes de que se pierda la información. El primer paso de este proceso es la **percepción**, que nos permite detectar estímulos perceptivos entrantes dedicándoles atención. El siguiente paso es el **reconocimiento de patrones**, que nos permite asociar la información perceptiva con un patrón reconocible. Una vez se perciben y reconocen los estímulos, se trasladan a la memoria a corto plazo para un procesamiento adicional. La investigación de la memoria sensorial trata de contestar a tres grandes preguntas: cómo percibimos los estímulos entrantes, cómo reconocemos estos estímulos y cómo distribuimos nuestra atención durante la percepción. Exploraremos cada una de estas cuestiones en detalle en los siguientes párrafos.

Considérese por un momento lo que es necesario para que pueda suceder la percepción. En primer lugar, un estímulo del entorno ha de ser detectado, visto u oído, pero no necesariamente comprendido, por la persona. Ese estímulo debe ser transformado y retenido de algún modo. Este proceso normalmente se denomina **almacenamiento**. A continuación, un cuerpo de conocimiento ha de estar disponible y debe ponerse en relación con el estímulo en el proceso conocido como **reconocimiento de patrones**. Finalmente, se debe tomar alguna decisión acerca de su significado. Este proceso se conoce como **asignación de significado**.

El cotidiano fenómeno de identificar la letra *a* parece mucho más complejo si consideramos lo que puede ocurrir durante el proceso de percepción. Una importante observación es que la percepción dura cierto tiempo. El hecho de que la percepción requiere tiempo y esfuerzo lleva a un curioso problema. Puesto que el entorno puede cambiar rápidamente (por ejemplo: al ver una película o al conducir un coche), el estímulo podría dejar de estar disponible antes de que se le hubiera asignado un significado. Sin poder “retener” este estímulo por un tiempo, nuestros procesos perceptivos se detendrían sin haberse completado (Fisher, Duffy, Young, y Pollatsek, 1988). La experiencia de ver una película, por ejemplo, sería terriblemente frustrante si desapareciera estímulo tras estímulo antes de que pudiéramos interpretar sus significados. Nuestra experiencia, sin embargo, nos dice que estos fallos en los procesos perceptivos ocurren con poca frecuencia. Esto es porque nuestros sistemas cognitivos están equipados con registros sensoriales.

Registros sensoriales

Una de las maravillas de nuestro sistema cognitivo es que dicho sistema puede retener temporalmente información del entorno después de que ésta haya desaparecido (DiLollo y Dixon, 1988; Treisman, 2006). Aunque todos nuestros sentidos tienen esta capacidad, un **registro sensorial**, la investigación se ha centrado casi por completo en la vista y el oído. Aquí, comentamos los registros sensoriales auditivos y visuales para presentar una pequeña introducción a ésta investigación.

Registros visuales El trabajo clásico sobre los registros visuales fue realizado hace medio siglo por George Sperling (1960). Sperling estaba trabajando en la investigación de la percepción básica, trataba de identificar la naturaleza de los registros visuales. Como parte de su estudio, mostró a unos sujetos experimentales diapositivas que contenían conjuntos de letras, como las de la Figura 2.2.

Sperling notó que cuando se mostraba a los sujetos este tipo de conjuntos durante menos de 500 milisegundos (es decir, 0,5 segundos), estos conseguían recordar unas 4 letras. Este número no cambiaba

C	Z	K	L
D	P	M	B
R	L	X	N

FIGURA 2.2 Conjunto de estímulos similar al usado por Sperling.

independientemente de que Sperling aumentara el tiempo durante el que se mostraba el conjunto (de 15 a 500 milisegundos) o alterara el número de letras de 4 a 12. Sperling desarrolló dos hipótesis que podían explicar sus resultados. Una de ellas era que tal vez solo 4 de las letras que veían los sujetos quedaban registradas, es decir, que los sujetos sólo veían 4 letras y no podrían recordar ninguna más porque en ningún momento habían sido registradas. La segunda hipótesis era que las 12 letras habían sido registradas pero que de algún modo se habían perdido antes de que fuera posible informar al respecto.

Para comprobar estas hipótesis, Sperling desarrolló lo que ha terminado llamándose *método del informe parcial*. Sperling pensó que si los sujetos disponían de más información de la que podían informar, podría tomar una muestra de lo que sabían. Así que, en lugar de preguntarles por todo lo que habían visto, les pidió que recordaran tan sólo una de las filas de letras del conjunto que les era mostrado (ver Figura 2.2).

El método del informe parcial de Sperling resultó ser muy inteligente. Se dijo a los participantes que después que el conjunto de letras desapareciera de la pantalla oírían un sonido. Si el sonido era agudo, debían recordar la fila superior. Si el tono era de rango medio, debían recordar la fila central. Si el tono era grave debían recordar la fila inferior. Los sujetos no podían saber qué fila debían recordar hasta que el conjunto de letras desapareciera de la pantalla, por lo que el número de letras que lograban recordar podía ser usado para estimar el número total de letras de que disponían cuando en el momento de comenzar a recordar. Variando el retraso entre la desaparición del conjunto y el sonido, Sperling pudo estimar cuánto tiempo esta información podía ser retenida.

Los resultados del estudio de Sperling están resumidos en la Figura 2.3. Cuando se emitía el sonido inmediatamente después de que desapareciera el conjunto, los sujetos lograban recordar entre tres y cuatro letras de la fila sobre la que se les preguntaba. Sin embargo, cuanto mayor fuera el retraso del sonido, menos letras podían recordar. Éste descenso se producía muy rápidamente. Tras un retraso de tan sólo 0,5 segundos, los sujetos recordaban un promedio de ligeramente más de una letra por fila, indicando que unas cuatro letras estaban disponibles.

Los datos apoyaban la segunda hipótesis de Sperling: todas o casi todas las letras del conjunto se registraban, pero la mayoría se perdía antes de que pudiera ser recuperada. Aparentemente, los sujetos de Sperling podían retener información visual durante unos 0,5 segundos. Pasado ese tiempo, ésta información ya no estaba disponible, habiendo desaparecido de la memoria sensorial.

La respuesta a la pregunta de Sperling estaba clara: las personas registran gran parte de la información que ven en exposiciones breves. Tras retirar esta información de la vista, sin embargo, sólo está disponible brevemente, unos 0,5 segundos. Para cuando los sujetos de Sperling lograban decir las letras de una fila (por ejemplo c, z y k) el resto de la información se había desvanecido.

Otra cuestión que Sperling analizó en su artículo de 1960 fue si se había asignado significado a la información en el registro sensorial visual, también llamado **icono**. Para examinar ésta cuestión, Sperling

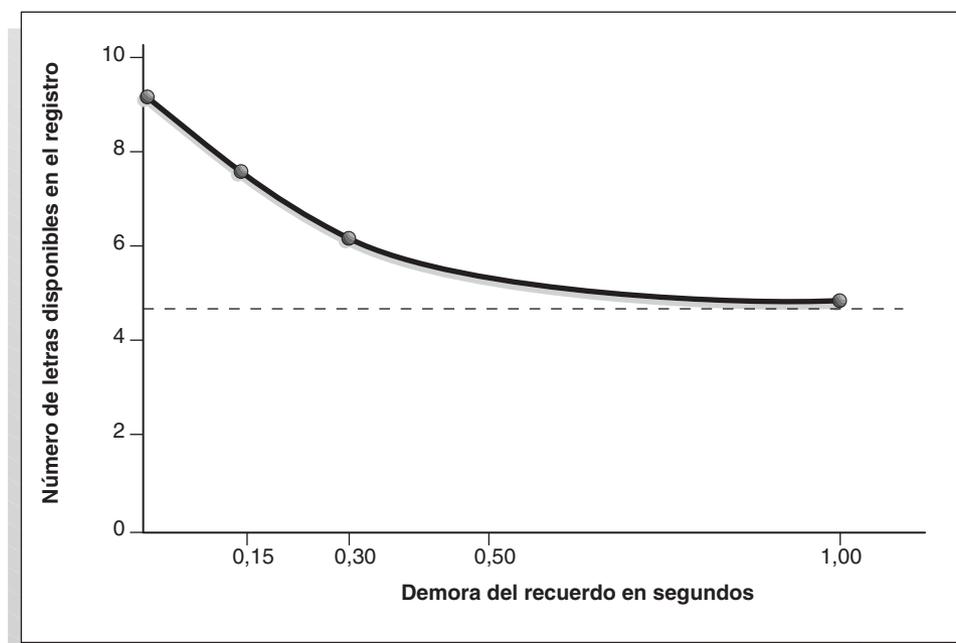


FIGURA 2.3 Resultados del experimento de Sperling de 1960. Este gráfico, que está basado en el que presentó Sperling, representa el recuerdo sin muestreo mediante la línea de puntos.

(ver también Sperling, 1983; Von Wright, 1972) presentó conjuntos, como el de la Figura 2.2, que contenían números y letras. Se proporcionaron indicios a los participantes del estudio indicándoles que debían recordar o letras o números. Estos indicios sólo funcionarían si se había asignado significado (número o letra) a la información del conjunto. Los resultados del estudio indicaban que, a diferencia de los indicios de localización descritos anteriormente, los indicios de número/letra no tenían efecto. Este resultado sugiere claramente que la información en el icono se retiene con relativamente poco procesamiento. Si los conjuntos se hubieran procesado (si se les hubiera asignado significado), los indicios de número/letra habrían mostrado diferencias.

Colectivamente, estos hallazgos sugieren que la memoria visual es muy limitada. Sólo se procesan simultáneamente de siete a nueve fragmentos de información y gran parte de ello desaparece rápidamente. La información retenida en la memoria sensorial visual recibe un procesamiento muy limitado.

Registros auditivos Aunque la mayoría de la investigación de los registros sensoriales se ha centrado en el icono, también se ha dedicado un trabajo considerable a estudiar el registro auditivo (para revisiones, ver Deutsch, 1987; Handel, 1988; Hawkins y Presson, 1987; Scharf y Buss, 1986; Scharf y Houtsma, 1986; Schwab y Nusbaum, 1986). Un estudio particularmente útil en el área es el de Darwin, Turvey y Crowder (1972) que replicó el trabajo de Sperling en el icono pero presentando la información por vía auditiva.

Darwin y cols. (1972) presentaron a los participantes de su estudio tres breves listas de números y letras. Las listas se presentaron simultáneamente a través de auriculares para que pareciera que una lista venía de la izquierda, otra de la derecha y la tercera de detrás. Tras escuchar las listas se daban indicios de posición a los sujetos para que recordaran una de las listas. Darwin y sus colaboradores demoraron estos indicios de 0 a 4 segundos tras la presentación de las listas. Los resultados se asemejaban notablemente a los encontrados por Sperling para el icono. Conforme aumentaba la demora en los indicios, disminuía la capacidad para recordar hasta que unos 3 segundos después de la presentación, el recuerdo con indicios no era mejor que sin indicios. Cuando Darwin y col. contrastaron los indicios de número/letra con

los indicios de posición, descubrieron que los indicios de número/letra eran relativamente ineficaces. Luego, al igual que el icono, parece que los registros auditivos retienen información relativamente poco procesada mientras comienza el procesamiento perceptivo.

Al comparar los almacenes sensoriales visual y auditivo surgen algunas diferencias interesantes (ver Ashcraft, 1994; Handel, 1988). La más obvia es la cantidad de tiempo que la información es almacenada en los registros, menos de 0,5 segundos en el icono y ligeramente más de 3 segundos en los registros auditivos (ver Chase, 1987; Hawkins y Presson, 1987). Esta mayor capacidad para retener información recibida de forma auditiva parece relacionada con el procesamiento del lenguaje (ver Schwab y Nusbaum, 1986).

Consecuencias de la investigación sobre los registros sensoriales Nuestra breve revisión de las investigaciones sobre los registros sensoriales sugiere algunas consecuencias directas para la enseñanza. En primer lugar, hay límites para la cantidad de información que puede ser percibida simultáneamente. La corta duración de la memoria en los registros sensoriales debe recordarnos la necesidad de que los profesores limiten la cantidad de información que presentan a los alumnos. De hecho, algunos trabajos sobre las diferencias del desarrollo de la cognición (por ejemplo Case, 1985), sugieren que el tamaño de los registros sensoriales aumenta con la edad. Los registros sensoriales de los niños están más limitados que los de los adultos. Los profesores deben ser conscientes, especialmente con niños de la primera etapa de educación primaria, de la necesidad de controlar la información que se espera que perciban los niños en cualquier momento dado.

En segundo lugar, puede haber verdaderos beneficios al presentar la información de forma audiovisual. Dada la capacidad limitada de los estudiantes para retener la información en sus registros sensoriales, se esperaría que la información presentada de forma audiovisual tuviera más probabilidades de ser percibida que la información presentada en un solo formato. Usar ayudas visuales en presentaciones auditivas y comentar materiales visuales parecen procedimientos razonables para incrementar las posibilidades de que se perciban materiales didácticos. También parece razonable presuponer que la estimulación de los sentidos del tacto, el olfato y el gusto puedan mejorar el aprendizaje.

El papel del conocimiento y del contexto en la percepción

El conocimiento previo influye directamente en la percepción, en el reconocimiento de patrones y en la asignación de significado (Cowan, 2005). Saber lo que vemos (u oímos) e incluso saber cómo mirar (o escuchar) depende del conocimiento que poseemos (ver McCann, Besner, y Davelaar, 1988). Un experto en ajedrez, por ejemplo, percibe las piezas de una partida de forma muy diferente a como lo haría una persona que nunca ha jugado. El experto inmediatamente detecta que el rey está en jaque, que se está usando un cierto estilo defensivo, etc., mientras que un principiante meramente percibe piezas, que puede que ni siquiera sepa nombrar, en un tablero de escaques.

El conocimiento también influye en cómo buscamos las cosas para percibir las. Por ejemplo, un buen aficionado al béisbol sabe que tiene que vigilar el comportamiento del jugador encargado de la parada corta, para determinar si el lanzador va a tirar una bola rápida, una bola curva o una deslizada. Un profano puede no tener ni idea de por qué el paracorto da pasos a la izquierda o a la derecha tan pronto como el lanzador suelta la bola. Del mismo modo, un retórico experimentado sabe qué debe buscar para evaluar un debate, al igual que un soldador hábil sabe cómo examinar el trabajo de otro soldador.

Está claro, entonces, que el conocimiento permite que ocurra la percepción y guía nuestra percepción de la nueva información (ver Mandler, 1984). Como se muestra en el Capítulo 3, una manera tentadora de pensar en nuestro conocimiento es por medio de **esquemas**. Los esquemas son estructuras de conocimiento organizadas por temas en la memoria a largo plazo que contienen elementos de información interrelacionada y que proporcionan planes para adquirir información adicional (Anderson,

1984; Mandler, 1984). Los esquemas incorporan prototipos, análisis de características y descripciones estructurales. Por ejemplo, el esquema de una persona para “árbol” contendrá, no sólo su descripción estructural, sino también información acerca de la naturaleza de los árboles (que absorben dióxido de carbono y desprenden oxígeno), dónde encontrarlos (por debajo de ciertas altitudes y en áreas ni demasiado secas ni frías) y el cuidado de los árboles (que deben ser podados y regados).

En algunas situaciones, los esquemas apropiados parecen activarse debido a los resultados de los procesos de reconocimiento de patrones. Por ejemplo, si está sentado tranquilamente en su sala de estar y huele humo, se activarán esquemas para reaccionar a esa situación debido a un dato (¡un fuego!). La activación de los esquemas resulta principalmente del análisis de un evento del entorno. En estos casos, los esquemas nos permiten comprender lo que sucede y nos preparan para un análisis continuado del entorno.

El contexto también afecta lo que vemos y percibimos. Considere las siguientes oraciones:

El hombre estaba sentado en el *banco*.

El hombre nadaba entre el *banco* de peces.

El hombre atracó el *banco*.

En cada caso la palabra *banco* se entiende de manera distinta por el contexto de la oración. La investigación indica que los lectores competentes recuperan automáticamente el significado apropiado de una palabra sin ser distraídos por los significados inapropiados, siempre y cuando el contexto sea lo bastante rico.

Ahora observemos la Figura 2.4. En este caso, lo que a primera vista parece ser la letra *B* puede ser un *13* igualmente aceptable en un contexto diferente. La mayor parte de los lectores probablemente no tienen dificultad en comprender el significado apropiado en ninguno de los casos, a pesar de que el estímulo físico es idéntico. La moraleja de la historia es que la percepción es un fenómeno relativo y no absoluto. ¡Distintas personas pueden interpretar el mismo estímulo de más de una manera, dependiendo de lo que sepan y del contexto en el que encuentren el estímulo!

La atención

Entretejida con la percepción está la atención, la dedicación de recursos cognitivos de una persona en una tarea determinada. En general, las investigaciones sobre la atención muestran que los seres humanos sólo pueden prestar atención a un número extremadamente limitado de cosas simultáneamente (por ejemplo: Muller y Krummenacher, 2006; Spear y Riccio, 1994). Este fenómeno normalmente se denomina *capacidad de procesamiento limitada*. Aunque hay diferencias individuales en este aspecto, la mayor parte de la gente no puede hacer más que una o dos cosas al mismo tiempo. La multitarea tiene una desventaja: de vez en cuando una persona puede intentar hacer demasiadas cosas simultáneamente y acaba haciéndolas todas mal.

La atención es el recurso más preciado de la mente, con la posible excepción del conocimiento. La atención es el combustible de la mente. Pensar en la atención como una especie de combustible mental revela que hay tres maneras de mejorar el aprendizaje: incrementar la cantidad de atención de que uno dispone, reducir la cantidad de atención que cada tarea consume o dedicar cuidadosamente la limitada atención de que uno dispone a la información más importante que uno necesita aprender.

A B C 12 B 14

FIGURA 2.4 Efectos del contexto en la percepción.

Los estudiantes necesitan aprender una gran cantidad de información en la escuela, por lo que necesitan seleccionar a qué atienden. Unos alumnos de sexto de primaria pueden empezar a prestar una cuidadosa atención a la explicación de su profesor de un problema aritmético para después desviar su atención a una conversación susurrada en la fila de al lado. Su atención puede entonces derivar hacia el aroma proveniente de la cafetería y más tarde a la nieve que cae fuera. Como consecuencia, la explicación de como trabajar con un nuevo conjunto de problemas matemáticos puede no ser recordada.

La investigación sobre la atención tiene una larga y polémica historia. El principal debate se centra en cómo los estudiantes dirigen su atención. Varias teorías sugieren que la atención se dedica temprano o tarde en el procesamiento de la información y hallazgos contradictorios en la investigación dificultan la construcción de la comprensión clara del proceso de dedicación de la atención. Sin embargo, los investigadores terminaron percatándose de que los distintos experimentos llevaban a distintas conclusiones porque la dedicación de la atención depende altamente del tipo de tarea que se está realizando. Esto llevó a muchos investigadores a distinguir entre lo que se conoce como tareas de recursos limitados y tareas de datos limitados (Norman y Bobrow, 1976; Nusbaum y Schwab, 1986).

En éste contexto, **tareas limitadas por recursos** son aquellas en las que el desempeño mejorará si se les dedican más recursos. Por ejemplo, si está viendo la televisión mientras lee este capítulo, probablemente no estará dedicando suficiente atención para comprender los puntos más importantes del capítulo. ¡Apagar la televisión y concentrarse en el libro debería mejorar bastante su aprendizaje!

Las **tareas limitadas por datos** son aquellas en las que el desempeño está limitado por la calidad de los datos disponibles en la tarea. Dedicar recursos por encima de un mínimo necesario para realizar la tarea no mejorará el desempeño en una tarea limitada por datos. Tratar de comprender una grabación de mala calidad es un ejemplo de tarea limitada por datos. Si la grabación es mala, después de que se haya dedicado una cierta cantidad de recursos a la tarea, la asignación de esfuerzo adicional no ayudará. Para muchos estudiantes, seguir instrucciones complejas o “analizar” sonetos de Shakespeare puede incluirse en la categoría de tareas limitadas por datos. Independientemente de cuántos recursos asignen, su desempeño no mejorará. Sin embargo, es aún más serio cuando los datos necesarios para completar la tarea no existen, por ejemplo, cuando el estudiante del primer semestre de cálculo dispone de poco conocimiento previo de conceptos matemáticos clave de álgebra y trigonometría.

Las tareas limitadas por recursos son difíciles si no disponemos de suficiente atención asignada a ellas. Por ejemplo, recordar tres números como 7, 3 y 5 es fácil, ¡a menos que se nos pida simultáneamente que contemos hacia atrás de tres en tres desde 102! Cada una de estas tareas es relativamente fácil de forma aislada, pero combinadas, no disponemos de suficientes recursos para realizar ambas. En contraste, las tareas limitadas por datos son difíciles independientemente de cuánta atención les asignemos. Por ejemplo, a veces, la recepción de la radio del coche es demasiado pobre para permitirnos distinguir la voz lejana que oímos en la noche.

El punto a recordar de este comentario es que la atención se asigna de maneras distintas dependiendo de la situación. Los alumnos competentes consiguen dedicar la cantidad apropiada de atención en el momento oportuno a una tarea de aprendizaje. Cuando la información es importante, los alumnos competentes dedican su atención a ella selectivamente (Fisher y col., 1988; Muller y Krummenacher, 2006) y dependen de muchos procesos automáticos para preservar recursos.

Procesos automáticos

Uno de los principales temas de este texto es la importancia de los procesos cognitivos automáticos (ver Capítulo 1). Debido a que los procesos cognitivos automáticos requieren menos recursos que los no automáticos (Unsworth y Engle, 2007), los alumnos necesitan menos recursos para realizar tareas en las que sus habilidades son automáticas que para aquellas tareas que precisan de atención y pensamiento consciente. La noción de proceso automático, o **automatización**, fue concebida por Neisser (1967)

y elaborada por LaBerge y Samuels (1974), Shiffrin y Schneider (1977), Neves y Anderson (1981) y Nusbaum y Schwab (1986). Aunque las opiniones difieren en cuanto a los pormenores de los procesos automáticos, generalmente se acepta que requieren (1) poca o ninguna atención para su ejecución y (2) que sólo se adquieren mediante la práctica.

La existencia de los procesos automáticos nos ayuda a explicar porqué la gente puede realizar tareas complejas y llevar a cabo varias tareas simultáneamente. Algunos ejemplos de procesos automáticos son el descodificación que realizan los buenos lectores, cambiar de carril para los conductores experimentados, puntuar correctamente para los escritores competentes y la colocación de los dedos en las cuerdas o teclas para los guitarristas o pianistas hábiles. Procesos como la capacidad de cambiar de carril mientras se habla con un pasajero o un músico que canta mientras toca su instrumento parecen requerir pocos recursos cognitivos y poca o ninguna atención consciente.

Es fácil ver cómo los procesos automáticos están relacionados con cómo los alumnos dedican su atención a sus tareas. Por ejemplo, si un estudiante no fuese capaz de realizar la mayor parte de los procesos de la multiplicación automáticamente, no podría asignar recursos a hacer estimaciones y evaluaciones. Del mismo modo, los buenos lectores pueden dedicar su atención al significado, pues el descodificado de palabras ya no requiere muchos recursos cognitivos. Los lectores poco competentes, sin embargo, pueden tener dificultades con el significado, no porque les falten capacidades de comprensión, sino porque muchos de sus recursos están asignados al descodificado de palabras (Stanovich, 2000). Puede que haya experimentado esto al leer en una lengua extranjera.

La investigación del desarrollo de la automatización ha mostrado que al principio, el desempeño de cualquier actividad cognitiva será lento e incómodo. Conforme avanza el aprendizaje, el conocimiento de unos hechos puede convertirse en conocimiento de *cómo usar esos hechos*. Éste “conocimiento procedimentalizado” está mucho más desarrollado y disponible y disminuye enormemente la demanda de nuestros limitados recursos de procesamiento en tareas rutinarias como la lectura.

De hecho, hay una sorprendente consistencia en los hallazgos en investigaciones de la adquisición de competencias en una amplia gama de tareas. Aunque el desempeño puede ser pobre al principio, rápidamente mejora hasta un nivel razonable de competencia. Sorprendentemente, en la mayoría de las áreas en las que la competencia han sido investigadas, ¡el desempeño continua mejorando incluso tras centenas e incluso miles de horas de práctica! Estos hallazgos se han producido en estudios tan diversos como la clásica investigación de Crossman (1959) de liar puros (¡en la que el desempeño siguió mejorando después de más de 3 millones de ensayos y 2 años!), la lectura de textos invertidos tras centenas de páginas (Kolers, 1975) y el continuo aprendizaje de un juego de cartas tras centenas de partidas (Neves y Anderson, 1981). Considere los esfuerzos de los estudiantes para esquiar mejor, aprender un nuevo videojuego o desarrollar fluidez en una lengua nueva. Un examen cuidadoso de su desempeño, incluso tras muchas horas de práctica, revela una mejora continua de su capacidad.

Resumen de los procesos de la memoria sensorial

La memoria sensorial procesa brevemente una cantidad limitada de los estímulos entrantes. Los registros visuales retienen de siete a nueve fragmentos de información durante unos 0,5 segundos. Los registros auditivos retienen de cinco a siete fragmentos de información hasta 4 segundos. Los estímulos entrantes son, en primer lugar, percibidos, a continuación se comparan con un patrón reconocible y entonces se les asigna un significado. La cantidad de información que podemos procesar depende de dos cosas: (1) la complejidad de la información y (2) nuestros recursos disponibles. Las tareas limitadas por recursos pueden mejorarse si les dedicamos selectivamente más atención. Las tareas limitadas por datos son difíciles independientemente de la cantidad de atención que les asignemos porque la información en si es deficiente. Las tareas automáticas son fáciles de realizar porque requieren menos recursos de atención.

Memoria a corto plazo y memoria operativa

La **memoria a corto plazo** es el lugar en el que se procesa la información por su significado. En el modelo modal se presupone que la información pasa a la memoria a corto plazo tras haber recibido un procesamiento inicial en la memoria sensorial. Al igual que la memoria sensorial, la memoria a corto plazo es limitada en cuanto a capacidad y duración. Los investigadores también han estudiado cómo se accede a la información en la memoria a corto plazo. Recientemente, la propia noción de memoria a corto plazo como sistema unitario ha sido cuestionada. Muchos investigadores prefieren ahora el término **memoria operativa**, que consiste en tres subsistemas, cada uno de los cuales realiza una función altamente especializada (ver Baddeley, 2007; Swanson y Kim, 2007).

Capacidad y duración

El primer análisis serio de la memoria a corto plazo como entidad cognitiva fue el clásico artículo de George Miller (1956) “El mágico número siete, más o menos dos: algunos límites de nuestra capacidad para procesar información”. Miller argumentó que el procesamiento de la información en nuestro sistema de memoria estaba restringido por un importante “cuello de botella”. En circunstancias normales, la mayoría de las personas no pueden retener más de unos siete agrupamientos (unidades de información con significado) en la memoria simultáneamente. Un modo de procesar la información con mayor eficiencia, según Miller, es aumentar el tamaño de los agrupamientos de información. Por ejemplo, aunque el número 4727211 puede no tener ningún significado para usted y, por lo tanto, sería recordado como siete elementos de información, nosotros lo recordamos como el número de la centralita de una de nuestras universidades, normalmente en tres elementos: 472, 72 y 11. La parte más provocativa del artículo de Miller, sin embargo, fue que la memoria a corto plazo sólo es sensible al número de agrupamientos, no su tamaño. En consecuencia, se pueden retener grandes cantidades de información en la memoria y, por lo tanto, mejorar enormemente el procesamiento de la información, simplemente agrupando la información en unidades de significado cada vez mayores. Numerosos estudios a lo largo de varias décadas han apoyado ésta idea. Algunas investigaciones han mostrado que se puede enseñar a la gente común a usar estrategias de agrupamiento para mejorar la capacidad de su memoria a corto plazo (Ericsson y col., 1980).

Otro aspecto importante de la memoria a corto plazo es la duración de la información. Los estudios pioneros de Peterson y Peterson (1959) mostraron, usando lo que ahora se conoce como el *paradigma de Brown-Peterson*, que la información es rápidamente olvidada en la memoria a corto plazo. Peterson y Peterson pidieron a adultos universitarios que estudiaran una lista de sílabas no relacionadas y que contaran, desde un determinado número, hacia atrás de tres en tres (es decir: 90, 87, 84, ...). Cuando se les preguntaba al cabo de 3 segundos, los sujetos habían olvidado en torno a la mitad de la información. Tras 18 segundos, casi todo había sido olvidado. Originalmente el olvido en la memoria a corto plazo había sido atribuido al decaimiento, es decir, el desvanecimiento de la información de la memoria en función del tiempo. Los estudios posteriores revelaron que el olvido no era tanto consecuencia del paso del tiempo, como de la *interferencia* causada por otra información (Cowan, 2005). Por ejemplo, Waugh y Norman (1965) variaron la cantidad de información que interfería durante un intervalo de tiempo fijo tras estudiar la lista objetivo. Sus resultados confirmaron que la cantidad de información que interfería aumentaba el olvido independientemente del tiempo. Este resultado y otros como él llevaron a los investigadores a concluir que el olvido es consecuencia de la interferencia y no del desvanecimiento derivado del paso del tiempo.

En conjunto, muchos de las primeras investigaciones sugieren que la capacidad de la memoria a corto plazo está limitada a unos siete agrupamientos, tal como Miller había predicho. Además, la información es olvidada con bastante rapidez, especialmente cuando nueva información la sigue en el

ciclo de procesamiento de la información. En consecuencia, aunque algunos indicios sugieren que la información se desvanece en la memoria a corto plazo, las pruebas científicas apoyan la idea de que el olvido es, normalmente, consecuencia de la interferencia y de la sobrecarga de la capacidad.

Acceso a la información

Los investigadores rápidamente empezaron a estudiar cómo buscamos entre la información que se retiene temporalmente en la memoria a corto plazo. En un conjunto de investigaciones, ahora famoso, Saul Sternberg (1975) pidió a sus sujetos que aprendieran una corta lista de letras sin relación entre sí (por ejemplo: BVGK) y que identificaran si una letra objetivo se correspondía con alguna de las letras incluidas en la lista original. La idea por detrás de ésta técnica era que las letras incluidas en la lista debían juzgarse con mayor rapidez que las que no lo estuvieran. Sternberg estudió dos cuestiones específicas en la toma de decisiones de los sujetos. La primera era si las letras en la lista se buscaban *en serie* (una por una) o *en paralelo* (simultáneamente). La segunda era determinar si la búsqueda era *autoconclusiva* (si la búsqueda se termina al encontrar la letra) o exhaustiva (si la búsqueda continúa al encontrarse la letra antes de terminar la lista). Sorprendentemente, Sternberg argumentó que la gente busca en los contenidos de la memoria a corto plazo en serie y de forma exhaustiva. El principal dato en el que se apoyaba Sternberg era que la toma de decisiones tomaba más tiempo conforme aumentaba el tamaño de la lista original, independientemente de la posición de la letra objetivo en la lista. Sternberg argumentó que las búsquedas autoconclusivas, en paralelo, que en principio parecen mucho más eficientes, son imposibles por (1) la velocidad a la que se toman las decisiones y (2) el hecho de que todo el proceso de búsqueda es completamente automático y no está bajo un control consciente.

Memoria operativa

Hacia 1970, los investigadores comenzaban a perder el interés por la idea de memoria a corto plazo. La principal queja era que muchos tipos de actividades se atribuían a la memoria a corto plazo sin especificar cómo ocurrían dichas actividades. Por ejemplo, imagine que se le dan las letras A, C, J y O y que se le pide que decida si éstas letras forman una palabra con significado. Tras unos instantes, usted encuentra la palabra *coja*. Pero, ¿qué es necesario para realizar estas operaciones mentales relativamente simples en la memoria a corto plazo? Por un lado, usted almacena las letras *acjo* temporalmente mientras, por otro lado, permuta las letras para comprobar si coinciden con alguna entrada léxica en la memoria. Lógicamente, para hacer esto, usted evocó conocimientos generales de la estructura de las palabras y buscó en la memoria léxica (memoria para las palabras) de una forma altamente estratégica (por ejemplo: alfabéticamente). El fin de este ejercicio es que usted realizó varias actividades de muy distinto tipo solamente para llevar a cabo una simple tarea de decisión léxica en la memoria a corto plazo.

La complejidad de las operaciones en la memoria a corto plazo llevó a muchos teóricos, el más notable de ellos Baddeley (1986), a proponer el modelo de la **memoria operativa**. El modelo de Baddeley incluía tres componentes principales, mostrados en la Figura 2.5. Se presupone que el *sistema de control ejecutivo* es un sistema de control de capacidad limitada que gobierna lo que entra en la memoria a corto plazo. Una segunda función importante es seleccionar las estrategias necesarias para procesar la información -por ejemplo, la decisión de buscar en la memoria léxica alfabéticamente. La central ejecutiva también controla dos “sistemas esclavos”, la *tableta de esbozos viso-espacial* y el *bucle articulatorio*. El primero nos permite retener información viso-espacial en la memoria a corto plazo y realizar una cierta cantidad de computaciones en esa información (por ejemplo: rotación mental de un objeto). El segundo es el análogo verbal de la tableta de esbozos. Nos permite retener información acústica temporalmente mediante la repetición, normalmente entre 2 y 4 segundos. Juntos, estos tres subsistemas realizan las operaciones mentales normalmente asignadas a la memoria a corto plazo.

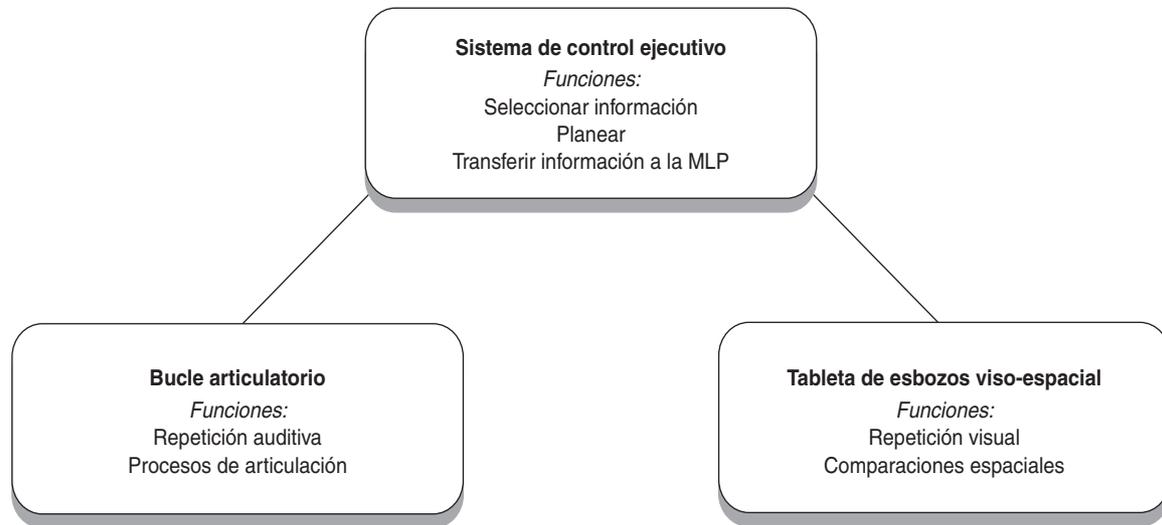


FIGURA 2.5 Un modelo de la memoria operativa.

El modelo de la memoria operativa propuesto por Baddeley y Hitch (1974) y desarrollado más profundamente por Baddeley (1986, 2001, 2007) establece presupuestos sobre los tres subsistemas descritos previamente. Un presupuesto es que cada uno de esos subsistemas tiene sus propios recursos de atención limitados. Esto significa que, bajo cargas de procesamiento de información normales, cada subsistema puede realizar trabajo mental sin emplear recursos de los otros subsistemas. Un segundo presupuesto es que el ejecutivo central regula las actividades de los dos sistemas esclavos. En principio, cuanto más pragmática y estratégica sea el ejecutivo central, más eficientes serán los sistemas esclavos.

Sin embargo, aún quedan preguntas acerca del funcionamiento exacto del sistema de memoria operativa (Hulme y Mackenzie, 1992). Una pregunta es el grado en el que cada uno de los tres subsistemas tiene acceso a su propia y única fuente de recursos o compiten en una fuente común. Una segunda pregunta es el papel concreto del ejecutivo central, que de vez en cuando parece asumir tareas normalmente desempeñadas por los sistemas esclavos inferiores. Una tercera pregunta es hasta qué punto se almacena temporalmente información en el bucle articulatorio con o sin algún tipo de repetición elaborada.

Mientras tanto, más y más modelos de la memoria operativa han aparecido en la literatura científica (por ejemplo: MacDonald y Christiansen, 2002). Algunos de estos modelos son similares al modelo de tres componentes de Baddeley que se muestra en la Figura 2.5 y otros no. Los expertos también han invertido una gran cantidad de tiempo en desarrollar pruebas para la memoria operativa (Daneman y Merikle, 1996; Miyake, 2001). Algunos de estos tests son para la memoria para números o letras aleatorios (por ejemplo: 4, 3, 7, 1, 8 o D, X, Z, P). Otros son sobre lo que se denomina recodificación de dígito o letra, en los que el individuo escucha una serie de dígitos al azar y después se le pide que los recuerde en orden creciente. Algunos tests más recientes consisten en contar objetos, señalar un cuadrado determinado o decidir si son aceptables gramaticalmente una serie de oraciones complejas. Las pruebas de la memoria operativa generalmente predicen bien el aprendizaje y correlacionan con el desempeño académico y con las puntuaciones en tests de inteligencia. Algunos expertos han argumentado que la memoria operativa es el factor clave en la inteligencia (Ackerman, Beier y Boyle, 2005; Engle, Kane y Tuholski, 1999).

A pesar del actual debate sobre la estructura e importancia de la memoria operativa, hay un cierto número de puntos en los que la mayoría de los expertos coinciden (Miyake, 2001; Miyake y Shah, 1999).

Uno es que la memoria operativa no es un componente físicamente separado en el sistema cognitivo, como sugería el modelo de Baddeley (2001) y la Figura 2.1. Las investigaciones indican que la memoria operativa está estrechamente relacionada a la memoria a largo plazo y que recibe una gran influencia de ésta. En consecuencia, lo que ya sabemos tiene un impacto directo en el procesamiento. Un segundo punto común es que la memoria operativa es responsable del procesamiento activo de la información más que estrictamente del mantenimiento pasivo a corto plazo de la información. Dicho de otro modo, la memoria operativa es el lugar donde se establece el significado en el sistema de procesamiento de la información. Un tercer punto es que la memoria operativa es esencial para la autorregulación eficaz del aprendizaje y la memoria, este tema se comenta más en detalle en el Capítulo 6. Un cuarto punto es que la memoria operativa es más bien un fenómeno de ámbito específico que de ámbito general. Es decir, la memoria operativa no es igualmente eficiente en distintos temas o ámbitos académicos como la lectura, la escritura, las matemáticas y la ciencia. Cuán bien usamos la memoria operativa depende de cuánto sepamos del tema y del grado en el que las habilidades en ese tema estén automatizadas. Un quinto punto común es que la memoria operativa se desarrolla con el tiempo. La mayoría de los expertos piensan que suceden dos cambios. Uno se debe a la maduración biológica natural (Case, 1985). El segundo se debe a la mejora en el uso y regulación de las capacidades de la memoria operativa (Engle y col., 1999). Además, hay un consenso creciente de que los factores emocionales influyen en la eficiencia de la memoria operativa. Por ejemplo, la ansiedad reduce su eficacia porque compite por recursos limitados que, de otro modo, podrían usarse para resolver problemas. Las emociones negativas pueden llevar al bloqueo o a la persistencia traumática de recuerdos (Schacter, 2001). Por el contrario, un humor positivo parece mejorar la memoria operativa (Oaksford, Morris, Grainger y Williams, 1996).

Memoria operativa y aprendizaje

Un cierto número de investigadores educativos aplicados, especialmente los que trabajan con tecnología (ver Capítulo 10), han asumido profundamente el modelo de Baddeley de memoria operativa y lo han desarrollado hasta lo que se conoce como **teoría de la carga cognitiva** (Kalyuga, Chandler, Tuovinen y Sweller, 2001; Mayer y Chandler, 2001; Rikers, 2006; Sweller, 1999; Sweller, van Merriënboer y Paas, 1998; van Merriënboer y Sweller, 2005). La teoría de la carga cognitiva presupone que algunos entornos de aprendizaje imponen mayores demandas que otros y que, en consecuencia, crean una carga de procesamiento de información mayor para los limitados recursos cognitivos de la memoria operativa (van Merriënboer y Sweller, 2005). La carga cognitiva puede variar por demandas intrínsecas o externas. Según la teoría de la carga cognitiva, la **carga cognitiva intrínseca** está causada por las propiedades inherentes a la información a ser aprendida y solamente puede ser alterada por la adquisición de esquemas, mientras que la **carga cognitiva externa** depende de la presentación de la información a ser aprendida o de actividades requeridas del estudiante. La carga cognitiva intrínseca no puede cambiarse porque depende de la complejidad de la información en sí. La carga cognitiva externa, sin embargo, puede cambiarse de varias maneras, tales como el uso de ayudas adjuntas, proporcionar instrucciones de aprendizaje específicas o mejorar la presentación de la información a ser aprendida.

En esencia, la teoría de la carga cognitiva dice que hay tres restricciones en la eficacia del aprendizaje. La primera incluye las *características del estudiante*, especialmente la capacidad de su memoria operativa, conocimientos conceptuales relevantes a la tarea en la memoria a largo plazo (por ejemplo: esquemas) y el grado en el que el estudiante ha automatizado los procesos básicos del aprendizaje. Las investigaciones sugieren que los individuos que están automatizados y poseen conocimientos sobre un tema usan los recursos de su memoria operativa eficientemente. Una segunda restricción es la *complejidad de la información a ser aprendida*. La información que incluye conceptos que pueden ser aprendidos de forma aislada impone cargas cognitivas menores que la información compuesta por conceptos que deben ser

aprendidos de forma simultánea. La tercera restricción es el *entorno de instrucción*. El aprendizaje puede ser mejorado proporcionando instrucciones útiles, fragmentando la tarea de aprendizaje para reducir la carga o permitiendo al alumno controlar la carga de manera más eficaz o proporcionando ayudas adjuntas como organizadores previos, anotaciones o resúmenes. Además, el aprendizaje mejora cuando el procesamiento de la información se distribuye en dos modalidades, como la verbal y la visual, en la memoria operativa. Por ejemplo, Mousavi, Low y Sweller (1995) hallaron que los estudiantes resolvían problemas de geometría de forma más eficaz cuando éstos constaban de ilustraciones y palabras que cuando tenían sólo palabras o sólo dibujos. El incremento en la eficacia fue atribuido a que el uso de los sistemas esclavos visual y verbal aumenta la capacidad de procesamiento total.

Mayer y Moreno (2003) usaron la teoría de la carga cognitiva para distinguir entre tres tipos diferentes de demandas cognitivas durante el aprendizaje. El *procesamiento esencial* se refiere a los procesos cognitivos que son absolutamente necesarios para comprender la información. Éstos procesos incluyen comprender las ideas principales, generar inferencias que enlacen estas ideas y relacionarlas con información relacionada en la memoria. El *procesamiento incidental* se refiere al procesamiento de información que no es absolutamente necesario pero que puede mejorar la comprensión. Por ejemplo, un estudiante puede tomar notas detalladas de un texto que ya entiende bastante bien. La *retención representacional* se refiere a la retención temporal de información en la memoria mientras se procesa otra información. Por ejemplo, puede ser necesario para un lector revisar una cierta información para comprender un gráfico que está estudiando.

Mayer y Moreno (2003) sugieren que el aprendizaje es más eficaz cuando los estudiantes centran todos sus recursos en el aprendizaje esencial y pocos o ninguno en el aprendizaje incidental o en la retención referencial. Han descrito varios casos posibles en los que el aprendizaje incidental o la retención referencial adicionales pueden llevar a una sobrecarga cognitiva y a un aprendizaje pobre. Una situación de sobrecarga se da cuando un individuo se ve forzado a realizar demasiado procesamiento esencial simultáneamente. Una posible solución es el *segmentado*, en el que al lector se le da tiempo entre presentaciones sucesivas para que maneje la información de manera más eficiente. Otra solución es el *pre-entrenamiento*, en el que el individuo recibe instrucciones diseñadas para automatizar habilidades esenciales.

Un segundo caso de sobrecarga sucede cuando el individuo es sobrecargado con una combinación de procesamiento esencial e incidental. Una solución es *desbrozado*, en el que el estudiante elimina todo, salvo el procesamiento esencial mediante la instrucción guiada o una realimentación periódica. Un tercer caso de sobrecarga sucede cuando se obliga a los individuos a retener información en la memoria mientras están ocupados con otra tarea de procesamiento de información. Una solución es proporcionar *dispositivos espaciales adjuntos* como dibujos o diagramas que eliminen la necesidad de retención representacional. Una alternativa es el *sincronizado*, o vincular la información y las tareas, lo que permite al lector reducir la información o el tiempo que la información es retenida en la memoria mientras tienen lugar otros procesamientos cognitivos.

La investigación de la memoria operativa ha contribuido enormemente a nuestra comprensión del aprendizaje desde perspectivas tanto teóricas como prácticas. Los expertos concuerdan en un cierto número de puntos importantes, incluyendo las ideas de que la memoria operativa tiene una capacidad limitada, controla una cierta cantidad de actividades de aprendizaje diferentes y está estrechamente relacionada con el aprendizaje autorregulado. La teoría de la carga cognitiva ha permitido a los educadores aplicar teorías de la memoria operativa al diseño de la instrucción. Los alumnos encuentran difícil el aprendizaje porque les faltan conocimientos, la información a aprender es demasiado compleja o el entorno de instrucción no apoya adecuadamente el aprendizaje. La teoría de la carga cognitiva nos ha alertado de problemas debidos a la redundancia, la atención dividida y la complejidad de la información.

Neurociencia cognitiva y memoria operativa

La psicología cognitiva ha expandido sus horizontes enormemente en las últimas 3 décadas. Hasta mediados de 1970, el estudio de la cognición humana se centraba principalmente en las estructuras y procesos cognitivos subyacentes, como la memoria operativa y la codificación. Durante los años 70 y 80, los investigadores de otras disciplinas, como la lingüística, la ciencia de la información y la filosofía, colaboraron con los psicólogos cognitivos para establecer el campo de la **ciencia cognitiva**. Más recientemente, los investigadores interesados por las bases biológicas y neurológicas de la memoria y la cognición han establecido el campo de la **neurociencia cognitiva** (Freberg, 2006).

Los neurocientíficos cognitivos se interesan por la estructura y funcionamiento del *cerebro*, en tanto que los científicos cognitivos tienden a centrarse sobre la estructura y funcionamiento de la *mente*. En términos ideales la neurociencia cognitiva puede ofrecernos una descripción verosímil tanto del cerebro, cuanto de la mente y, lo que es más importante, una descripción de cómo cerebro y mente funcionan de modo unísono. Existen muchas razones que explican la tardía incorporación de la neurociencia a la psicología cognitiva, pero merece la pena destacar dos de ellas en particular. La primera es la formación especializada que resulta necesaria para comprender el funcionamiento detallado del cerebro físico. Una segunda razón es que los métodos de investigación en neurociencia se vieron retrasados por la carencia de técnicas que permitieran a los investigadores abordar muchos temas relevantes de modo relativamente no invasivo.

Los neurocientíficos cognitivos a menudo diferencian entre dos niveles de organización para comprender y estudiar el cerebro: el nivel neuronal y el nivel cortical. Estos niveles corresponden al nivel celular de la actividad cerebral, vinculado a la transmisión de las señales electroquímicas y a las unidades estructuralmente mayores que controlan la actividad cognitiva compleja.

El nivel neuronal

La neurona es la unidad básica de actividad electroquímica en el cerebro (Freberg, 2006; Radvansky, 2006; Ward, 2006). En un cerebro adulto y sano hay entre 100 y 150 miles de millones de neuronas, cada una de ellas está conectada aproximadamente a otras 10.000 neuronas, lo que en la década de 1980 dio lugar a las teorías “conexionistas” de la memoria. Al parecer, los humanos perdemos algunas neuronas tras el nacimiento, especialmente si no se estimula cognitivamente el cerebro. La **poda** hace referencia a un proceso mediante el que prosperan las neuronas que están conectadas a una actividad cognitiva consistente, en tanto que aquellas otras que caen en la falta de uso son “podadas”. En la actualidad continúa el debate sobre si es posible generar o regenerar las neuronas tras el inicio del periodo adulto. La teoría convencional sostuvo en su momento que nacemos con un conjunto finito de neuronas y las vamos perdiendo gradualmente a lo largo de la vida. Sin embargo, hoy día los investigadores piensan que somos capaces de generar y regenerar las neuronas mediante la actividad mental rigurosa y ciertas terapias farmacológicas.

Una neurona puede subdividirse en tres partes esenciales: el núcleo, las dendritas y el axón. Resulta útil pensar en las neuronas como en aeropuerto, el núcleo sería la torre de control, las dendritas serían las pistas de aterrizaje y el axón la pista de despegue. En una neurona el tráfico que ingresa y el que sale es información electroquímica. En el cuerpo de la neurona el núcleo de la célula contiene el código genético que regula la incorporación y distribución de los neurotransmisores químicos, como la dopamina y la acetilcolina, que regulan la excitación y la inhibición de la neurona. Las dendritas conectan el cuerpo celular a las neuronas adyacentes y son las responsables de recibir las señales electroquímica que ingresan a la neurona. La cantidad y tipo de dendritas del cuerpo celular dependen en parte de la localización de la neurona en el cerebro y del nivel de implicación rutinaria de la neurona en la actividad del cerebro. Se ha considerado que las dendritas aumentan con el aumento de la actividad cerebral (Freberg, 2006). Al

contrario que las dendritas que reciben información, el axón es responsable del envío de información a otras neuronas a través de los botones sinápticos.

Las neuronas están conectadas mediante las sinapsis en las que los botones terminales de una neurona se conectan con las dendritas de otra neurona. Las señales electroquímicas pasan a través de la sinapsis para activar mediante los neurotransmisores las neuronas circundantes. La intensidad de la señal determina el potencial de acción de la neurona. Los potenciales de acción elevados crean una señal más intensa y se supone que generan un amplio efecto de abanico de activación sináptica en las neuronas circundantes (Ward, 2006). Existen diversos neurotransmisores importantes, entre los que se incluyen la acetilcolina (que tiene efecto sobre el aprendizaje y la memoria), la dopamina (que actúa sobre la planificación y el movimiento), la serotonina (que afecta el estado de ánimo), y la norepinefrina (que actúa sobre la activación y la vigilancia). La perturbación del funcionamiento normal de los neurotransmisores a causa de desequilibrios químicos, las drogas o el alcohol, puede tener un impacto serio sobre el funcionamiento cognitivo.

El nivel cortical

El **córtex cerebral** está formado por pliegues de materia gris que pueden dividirse en cuatro áreas funcionales, los lóbulos frontal, temporal, parietal y occipital. El lóbulo frontal está localizado directamente detrás de la frente y está asociado a la regulación emocional y de los afectos, a la regulación ejecutiva del aprendizaje y a las funciones de la memoria a largo plazo. El lóbulo frontal parece ser particularmente activo en la organización y coordinación de la información en la memoria operativa. Los daños del lóbulo frontal pueden perturbar gravemente la emoción y el procesamiento cognitivo. Un ejemplo de triste recuerdo es el de Phinias Gage, a quien le penetró una barra de hierro a través del cráneo en un accidente ferroviario, destruyendo buena parte de su lóbulo frontal (Ward, 2006). El accidente de Gage transformó a un educado e industrioso capataz ferroviario en un vagabundo disoluto y soez. Pudieron observarse efectos semejantes en la época en que se realizaban lobotomías frontales para controlar la conducta desordenada de personas con retraso mental. El lóbulo frontal también incluye el córtex motor primario, que ayuda a regular el movimiento y la coordinación motriz y el córtex auditivo primario, que controla el procesamiento del sonido.

El lóbulo temporal está localizado en la región media del cerebro, en la parte inferior del córtex y controla la transferencia de información de la memoria a corto plazo a la memoria a largo plazo, además de contribuir a la regulación de los procesos de la memoria. Varios tipos de amnesia pueden atribuirse a las lesiones del lóbulo temporal. Sorprendentemente, los problemas asociados al recuerdo de sucesos pasados (o sea, la amnesia retrógrada) o de sucesos nuevos (o sea, la amnesia anterógrada), pueden no tener efecto sobre otros tipos de memoria, la personalidad o la regulación cognitiva ejecutiva. El lóbulo temporal también ha sido vinculado a la memoria autobiográfica. Otra importante estructura cerebral relacionada con la memoria es el hipocampo, que se encuentra localizado al lado del lóbulo temporal, pero que en realidad forma parte del sistema límbico del cerebro y no del córtex cerebral. El hipocampo está relacionado con el recuerdo de la información verbal y espacial, aunque estas funciones parecen realizarse mediante procesos separados. El hipocampo también contribuye a la regulación de la codificación y recuperación de la información de la memoria a largo plazo.

El lóbulo parietal está localizado cerca de la parte posterior y la coronilla de la cabeza y está asociado al razonamiento visual y espacial en la memoria operativa y la elaboración de imágenes mentales y mapas espaciales. El lóbulo parietal incluye el córtex somatosensorial primario, que contribuye al control de la temperatura corporal y sus sentidos, incluyendo el tacto y la sensación de dolor.

El lóbulo occipital está situado en la parte posterior del cerebro y está implicado en el procesamiento perceptivo que tiene lugar en la memoria sensorial. El lóbulo occipital procesa los fragmentos de información básicos que ingresan, como los rasgos perceptivos (Radvansky, 2006). También incluye el córtex

visual primario, que contribuye a la organización y asignación de sentido de la información visual general. Hay pruebas de que las neuronas del córtex visual primario está muy especializadas, algunas de ellas se dedican únicamente a la detección de líneas verticales u horizontales y otras a la detección de los contornos.

Un concepto importante que está implícito en nuestra revisión sobre el córtex cerebral y las estructuras cerebrales en general, es el concepto de **modularidad** (Barrett y Kurzban, 2006). La modularidad hace referencia al hecho de que el cerebro tiene regiones físicas especializadas, como el córtex visual primario, que realizan funciones especializadas. En estas regiones se producen a su vez otras especializaciones, como los detectores de rasgos dedicados exclusivamente al movimiento vertical frente al horizontal. Hay pruebas contundentes de que ciertos procesos cognitivos específicos están localizados en zonas específicas del cerebro. Un ejemplo es el área de Broca, que regula el reconocimiento de palabras, la recuperación y el procesamiento fonológico. Si esa parte del cerebro sufre daños, como puede suceder en un accidente o en una apoplejía, algunas o todas esas funciones del lenguaje pueden perderse y resultar muy difíciles de recuperar.

Aunque el cerebro tenga una naturaleza modular, en los niños menores de 12 años afortunadamente hay un alto grado de plasticidad, lo que permite que las funciones migren a otras partes del cerebro, si una parte de éste ha sido dañada. Sin embargo, esta capacidad para migrar de las habilidades cognitivas especializadas, o de recobrase rápidamente, se desvanece al comienzo de la pubertad. A pesar de la naturaleza modular del cerebro, existe un debate vigoroso sobre la medida en que la cognición humana está sujeta a una modularidad funcional, en contraposición a una modularidad estructural. Algunos críticos se inquietan por lo fácil que resulta adoptar una concepción de la cognición humana en la que los procesos se consideran innatos, funcionalmente diferenciados de otros procesos y, quizá, inmutables (Barrett y Kurzban, 2006; Sperber, 2005). Por ejemplo, la teoría de las inteligencias múltiples de Howard Gardner (1993) indica que existen hasta 10 tipos diferentes de inteligencia, separados entre sí, en tanto que otras teorías presuponen que existen únicamente uno o dos componentes principales (Ackerman y Lohman, 2006). El punto de desacuerdo es el siguiente: Incluso si el cerebro tiene módulos, esto no significa que todas las funciones cognitivas estén separadas entre sí. De hecho, la mayoría de los psicólogos cognitivos aceptan que todas las diferentes funciones cerebrales están integradas en una entidad única que denominamos “mente pensante”.

Pruebas neurológicas de las funciones de la memoria operativa

¿Prestan apoyo los hallazgos de la neurociencia a los modelos cognitivos y las explicaciones de la memoria operativa descritos en este capítulo? La respuesta es abrumadoramente que sí. Muchas de las investigaciones realizadas sobre el cerebro están proporcionando pruebas muy consistentes con las teorías cognitivas. Por ejemplo, la investigación en neurociencia ha identificado actividad en el lóbulo frontal durante el aprendizaje que está relacionada con la planificación ejecutiva de la memoria operativa (Morrison, 2005; Ward, 2006). La investigación ha aportado un poderoso apoyo al concepto de especialización funcional y de modularidad, en especial en el córtex frontal, donde se localizan el almacenamiento complejo de la memoria y los procesos ejecutivos (Freberg, 2006). No obstante, continúa el debate entre investigadores cognitivamente orientados y otros más inclinados hacia la neurociencia sobre temas como la estructura detallada de la memoria operativa, los papeles que cumplen las distintas áreas cerebrales y el sistema límbico en la memoria y hasta qué punto algunas funciones son estrictamente modulares, en lugar de estar distribuidas por diferentes zonas del cerebro.

Evaluación de la memoria operativa

Los investigadores que estudian la memoria operativa se enfrentan al desafío de obtener datos, el problema es que muchos procesos cognitivos suceden rápidamente, habitualmente en 0,5 segundos o menos. George Sperling, quien desarrolló el paradigma de informe parcial descrito anteriormente, es

famoso hoy día no sólo por sus innovadores métodos de investigación, sino también por sus contribuciones teóricas a la investigación sobre la memoria. A menudo los principales descubrimientos que realizan los científicos cognitivos al estudiar la memoria se deben, en parte, al desarrollo de procedimientos nuevos e ingeniosos para medir los escurridizos procesos de la memoria. Tal cosa resulta igualmente cierta respecto a la neurociencia cognitiva. En la última década el uso innovador por los neurocientíficos de las tecnologías de la imagen, como la resonancia magnética (MRI), para estudiar la estructura y actividad electroquímica del cerebro, ha contribuido enormemente a la comprensión de qué partes del cerebro están activas en las actividades cognitivas.

Las últimas tres décadas han contemplado una gran cantidad de investigación sobre la memoria operativa, en especial sobre la amplitud de la memoria operativa, de la que se supone refleja la capacidad de almacenamiento y de procesamiento activo que tiene lugar en la memoria operativa en un momento determinado. Los individuos con una mayor amplitud de memoria se supone que son más rápidos y más eficaces como procesadores de información.

Se han utilizado con bastante frecuencia dos tareas en las investigaciones sobre la memoria operativa. La **tarea de amplitud de lectura**, desarrollada por Daneman y Carpenter (1980), es probablemente la tarea cognitiva más conocida. Este método implica que los sujetos realicen dos tareas simultáneamente: leer una lista de frases y recordar la última palabra de cada frase. En una versión de la tarea, los sujetos valoran si una oración es gramaticalmente correcta y también recuerdan una palabra asociada con la oración. Tras valorar la corrección de la lista de frases, el participante ha de recordar la palabra que seguía a cada oración. Es presumible que esta tarea mida tanto un almacenamiento básico, cuanto el mecanismo de procesamiento ejecutivo central de la memoria operativa (Swanson, 2004). Una variación de la amplitud de lectura, denominada *tarea de amplitud de operación*, fue desarrollada por Turner y Engle (1989); la tarea requiere que una persona lea en voz alta un problema de matemáticas de dos pasos como $(3 \times 3 = 9)$, valore si la respuesta que se ofrece es correcta, observe una palabra tras cada problema y seguidamente recuerde tantas palabras como sea posible, un vez terminado todo el conjunto. Durante el último cuarto de siglo una gran cantidad de estudios han investigado las tareas de amplitud de lectura y de amplitud de operación, ambas se consideran excelentes medidas de la memoria operativa (Daneman y Merikle, 1996).

La utilización de las tareas de amplitud es un modo relativamente directo de medir la capacidad de la memoria operativa. Estas tareas son predictivas respecto a un conjunto de medidas cognitivas relacionadas, como la inteligencia, la comprensión lectora y la solución de problemas (Ackerman y cols., 2005; Unsworth y Engle, 2007). Sin embargo, la tarea de amplitud no nos dice nada sobre las actividades físicas del cerebro. Por esta razón, los investigadores interesados por la neurobiología de la memoria han desarrollado distintos métodos para examinar los procesos de la memoria operativa.

Los neurocientíficos se apoyan en las *técnicas de imagen estructural* y en las de *imagen funcional* (Ward, 2006). La imagen estructural utiliza procedimientos como la tomografía computarizada (CT) y la imagen por resonancia magnética (MRI), que proporcionan un “mapa” de las propiedades físicas del cerebro. Por el contrario, la imagen funcional emplea la tecnología para estudiar la actividad electroquímica del cerebro según ésta tiene lugar. Las dos técnicas más comunes de imagen funcional son la tomografía por emisión de positrones (PET) y la imagen funcional por resonancia magnética (fMRI). Ambos tipos de imagen son importantes, pero las técnicas funcionales permiten a los investigadores examinar con detalle qué partes del cerebro participan en las distintas actividades cognitivas y su nivel de participación.

Consecuencias para la instrucción: orientación y guía de la atención

La información presentada en este capítulo, dada su fuerte naturaleza teórica, podría parecer poco relacionada con la práctica educativa a algunos lectores, sin embargo, ofrece una serie de conse-

cuencias relevantes para el aprendizaje y la instrucción, las cuales desarrollamos en las páginas siguientes.

1. *El procesamiento de la información está limitado por un “cuello de botella” en la memoria sensorial y a corto plazo.* Dado que existen diversas limitaciones serias de la memoria sensorial y a corto plazo, los alumnos deben concentrarse selectivamente sobre la información más importante. Los alumnos que lo hacen así recuerdan más información importante y emplean menos tiempo y esfuerzo estudiando (Reynolds, 1993). Resaltar la información importante para los alumnos antes de que comiencen a estudiar les ayuda a centrar su atención. Disponer de conocimientos previos también mejora la atención selectiva del estudiante; los alumnos que saben más sobre un tema encuentran más fácil la identificación de la información importante y se centran mejor sobre la misma. La presentación de textos y ejemplos que proporcionen la información más importante puede facilitar mucho el aprendizaje.
2. *La automatización facilita el aprendizaje al disminuir la limitación de los recursos.* Los procesos automatizados permiten a los estudiantes utilizar menos recursos cognitivos para realizar una tarea. Los profesores han de recordar y es necesario recordar a los alumnos que los procesos se automatizan únicamente tras una práctica frecuente. Para alcanzar el procesamiento automático incluso de habilidades simples son necesarias cientos de horas de práctica. También es necesario variar las condiciones de la práctica; por ejemplo, no debe conducirse siempre por la misma vía bajo condiciones ideales.
3. *La percepción y la atención se guían mediante los conocimientos previos.* Nuestros conocimientos previos tienen una poderosa influencia sobre los estímulos que percibimos, cuán fácilmente que los reconocemos e incluso qué significado les otorgamos. Debe alentarse a los alumnos a utilizar sus conocimientos previos para procesar la información nueva. Una de las maneras de hacer esto es mediante las actividades de pre-instrucción que activan los conocimientos previos (véase el Capítulo 4). Otro procedimiento es facilitar que los estudiantes compartan el conocimiento en grupos pequeños de debate, antes de enfrentarse a una tarea nueva y posiblemente desconocida. También es necesario que los profesores adapten cuidadosamente las actividades a los niveles de conocimiento de sus alumnos. Frecuentemente la percepción será tan buena como lo sea la base de conocimiento que la sustente. Cuando el objetivo es una percepción sofisticada (por ej., captar diferencias sutiles en sustancias químicas o poder oír cuándo un clarinete está ligeramente desafinado), resultan cruciales una amplia base de conocimiento junto a una práctica muy frecuente.
4. *La percepción y la atención son procesos flexibles.* La clave para los profesores es asumir que en última instancia, la percepción y la atención han de estar bajo control del alumno. En consecuencia, cualquier método que ayude al alumno a controlar esos procesos es un paso hacia el aprendizaje independiente. Pese a que nuestra capacidad para procesar información tiene límites, los estudiantes competentes son capaces de superar esos límites de diversos modos. Uno de ellos es practicar las tareas hasta que se automaticen. La automatización incrementa el ritmo al que se procesa la información, ya que la percepción y la atención requieren de menos recursos cognitivos. En cierto sentido, la automatización es equivalente a incrementar el flujo de agua en una manguera de jardín de capacidad fija; no podemos aumentar el diámetro de la manguera (capacidad de procesamiento), pero podemos acelerar el flujo de agua (información). Un segundo modo de incrementar la flexibilidad del procesamiento consiste en aprender a atender selectivamente a lo que es importante. Un tercer procedimiento es distribuir la carga de procesamiento de la información estratégicamente entre los canales auditivo y visual, por ejemplo, empleando materiales visuales para ampliar lo que se conoce mediante las conferencias y el debate.

Aunque es evidente que existen diferencias fisiológicas entre los alumnos en cuanto a su capacidad para procesar información, éstas nos parecen menos importantes que las diferencias estratégicas (véase Brody, 1992, para concepciones alternativas). Hay poco que los educadores puedan hacer respecto a las diferencias de capacidad innatas, pero sí que podemos tener un impacto importante sobre la manera como usan los alumnos sus recursos cognitivos. Los estudiantes son muy adaptativos y la ayuda de los padres, los compañeros y los profesores puede ayudarles a emplear sus recursos de modo más estratégico.

5. *Las limitaciones de los recursos y de los datos restringen el aprendizaje.* No todas las tareas de aprendizaje son iguales. A veces estamos limitados por nuestros recursos cognitivos. Incluso el mejor conductor carece de recursos cognitivos para hablar por un teléfono móvil y conducir de modo competente en el tráfico de una hora punta. De modo semejante, a veces las tareas pueden resultar demasiado exigentes para que algunos alumnos logren dominarlas con rapidez; estos alumnos pueden carecer de los recursos cognitivos para procesar la cantidad de información que se espera que aprendan. Si estimamos que un estudiante carece de los recursos necesarios para abordar una tarea de aprendizaje, podemos fragmentarla en partes menores, más manejables; podemos proporcionarle una tarea más sencilla; o podemos disponer que reciba algún tipo de ayuda de algunos de sus compañeros actuando como tutores.

El aprendizaje también puede verse limitado por la calidad de los datos o de la información disponible para aprender una tarea. Las tareas limitadas por los datos son aquellas en las que el rendimiento es restringido a causa de la calidad de los datos disponibles en la tarea. Más allá del nivel mínimo de recursos necesarios para realizar la tarea, asignar más recursos a una tarea limitada por los datos no mejora el rendimiento. Por ejemplo, frecuentemente los libros de texto omiten información que es importante, o incluso esencial. Cuando esto sucede, los alumnos pueden verse obligados a encontrar por sí mismos información, o tal vez ni siquiera se den cuenta de que falta información esencial. Lamentablemente, muchos estudiantes en esta situación se limitan a renunciar, al ser incapaces de salvar la distancia originada por los datos insuficientes. Animamos a los profesores a examinar minuciosamente aquello que se supone que los alumnos han de aprender y los recursos que se les proporcionan para hacerlo, a fin de que demasiada información o demasiado poca, no constituyan un problema.

6. *Debe estimularse a todos los alumnos a “controlar sus propios recursos”.* Los buenos alumnos son autorregulados, un concepto que comentaremos con más detalle en el Capítulo 4. Para ser autorregulado es necesario que el alumno disponga de los conocimientos y estrategias adecuadas y la motivación para aplicar ese conocimiento y esas estrategias. El núcleo de la autorregulación es la voluntad y la capacidad de controlar los propios recursos cognitivos limitados del modo más estratégico posible. La investigación indica que incluso los alumnos universitarios no logran controlar sus recursos con eficacia, en parte porque carecen de conocimientos y, en parte, porque carecen del deseo de hacerlo (Wade, Trathen y Schraw, 1990). A nuestro entender ayudar a los alumnos a hacerse más estratégicos, a identificar la información importante y a emplear sus conocimientos previos resulta esencial para una enseñanza eficaz.
7. *El procesamiento de la información es más fácil cuando la información a aprender se distribuye en la memoria operativa.* El modelo de tres componentes de la memoria operativa de Baddeley sugiere que la información visual y auditiva se procesan por separado en la memoria operativa. La presentación de información en una modalidad puede reducir la carga de la otra (Mousavi y cols., 1995). Al utilizar sus sistemas de memoria operativa más eficazmente, los alumnos pueden aprender con menos esfuerzo.

Resumen

En este capítulo hemos revisado los procesos de percepción y atención. La percepción es la asignación de significado a los estímulos entrantes. La atención es la asignación de recursos cognitivos a las tareas a realizar.

La percepción comienza en los receptores sensoriales. Cada uno de nuestros sentidos parece tener un registro sensorial, pero la mayor parte de la investigación se ha centrado en el registro sensorial visual (icónico) y en el registro sensorial auditivo. Los registros sensoriales son el lugar en el que los estímulos entrantes, la información no procesada, se almacena brevemente y comienza el procesamiento perceptivo.

La investigación indica que la atención es asignada de modo flexible. Los alumnos competentes se centran selectivamente en aquello que es importante aprender. Algunas tareas son difíciles a causa de la limitación de recursos; es decir, puede que no dispongamos de los recursos adecuados para asignarlos a ellas. Otras tareas son difíciles porque están limitadas por los datos; es decir, la información está degradada o es insuficiente.

Al igual que sucede con la memoria sensorial, la memoria a corto plazo es bastante limitada. Miller (1956) sugirió que somos capaces de mantener aproximadamente siete elementos de información simultáneamente en la memoria operativa. Esta información se olvida rápidamente por las interferencias, por el desvanecimiento y porque es sustituida por información nueva.

También describimos la transición de la memoria a corto plazo a la memoria operativa. Ésta última incluye un ejecutivo central, un bucle articulario y una tableta de esbozos viso-espacial. El ejecutivo central coordina dos sistemas esclavos, que son responsables del mantenimiento de la información verbal y espacial. La investigación indica que cada subsistema posee recursos únicos que permiten que la carga de procesamiento se distribuya entre ellos.

La teoría de la carga cognitiva se ha elaborado a partir del modelo de memoria operativa de Baddeley, a fin de comprender mejor el aprendizaje. La teoría de la carga cognitiva afirma que el aprendizaje es restringido por la capacidad de procesamiento limitada. Cuanto mayor es la carga cognitiva de la información a aprender, más difícil resulta aprender. Los investigadores han considerado diversas maneras de disminuir la carga cognitiva, bien mediante un mejor diseño de los materiales de aprendizaje o mediante métodos de instrucción que permiten a los alumnos un empleo más eficaz de sus limitados recursos.

También hemos comentado la neurociencia cognitiva, el estudio de los fundamentos biológicos y neurológicos de la memoria y la cognición. Los neurocientíficos cognitivos estudian la estructura y funcionamiento del cerebro, en tanto que los científicos cognitivos tienden a centrarse sobre la estructura y funcionamiento de la mente. Los neurocientíficos cognitivos diferencian entre dos niveles de organización en el cerebro, el nivel neuronal y el nivel cortical. Éstos corresponden al nivel celular de la actividad cerebral que controla la transmisión de las señales electroquímicas y a las unidades estructurales de mayor dimensión que controlan la actividad cognitiva compleja. El innovador empleo que ha hecho los neurocientíficos de las técnicas de imagen, como la resonancia magnética, ha generado métodos no invasivos de estudio del cerebro. La investigación en neurociencia proporciona apoyo a los modelos cognitivos y a las explicaciones sobre el funcionamiento de la memoria operativa que hemos descrito en este capítulo. Por ejemplo, la investigación en neurociencia ha identificado actividad en el lóbulo frontal durante el aprendizaje relacionada con la planificación ejecutiva en la memoria operativa.

LECTURAS RECOMENDADAS

Barrett, H.C. y Kurzban, R. (2006). Modularity in cognition: Framing the debate. *Psychological Review*, 113, 628-647.

Esta revisión proporciona un amplio resumen sobre la teoría de la modularidad, incluyendo sus puntos fuertes, sus debilidades e incorporando una gran variedad de datos empíricos de la psicología cognitiva.

Cowan, N. (2005). *Working memory capacity*. Nueva York, NY: Psychology Press.

Este libro proporciona una revisión amplia y actualizada de la bibliografía sobre la memoria operativa, además de una revisión de los modelos en disputa al respecto.

Greene, R. (1992). *Human memory. Paradigms and paradoxes*. Mahwah, NJ: Erlbaum.

Este libro proporciona una panorámica extremadamente bien escrita de la investigación sobre la memoria.

Mayer, R.E. y Moreno, R. (2003). Nine ways to reduce cognitive load in multimedia learning. En R. Bruning, C. Horn y Lisa PytlikZillig (eds.), *Web-based learning: What do we know? Where do we go?* Greenwich, CT: Information Age.

Este capítulo resume magníficamente la teoría de la carga cognitiva, describe varios escenarios que generan sobrecarga cognitiva y comenta los procedimientos para reducir la sobrecarga.

van Merriënboer, J.J.G. y Sweller, J. (2005). Cognitive load theory and complex learning: Recent developments and future directions. *Educational Psychology Review*, 17(2), 147-177.

Este artículo proporciona una revisión detallada de la teoría de la carga cognitiva y sus consecuencias para el aprendizaje complejo.