

SECCIÓN EXPERIMENTAL

Psicológica (2008), 29, 1-34.

El efecto del código numérico en la tarea de comparación de números de dos cifras

Pedro Macizo^{*1} y Amparo Herrera²

¹Universidad de Granada (España); ²Universidad de Jyväskylä (Finlandia)

Realizamos tres experimentos para evaluar la influencia del formato numérico en el procesamiento de la magnitud de números de dos cifras. Los participantes seleccionaban el mayor de dos números presentados mientras se manipuló la compatibilidad decena-unidad. Un ensayo fue compatible si tanto las decenas como las unidades orientaban hacia la misma respuesta (v.g., 24-67), mientras que el ensayo fue incompatible si las decenas y las unidades orientaban hacia respuestas diferentes (v.g., 64-27). El efecto de compatibilidad dependió del formato de presentación de los números. La compatibilidad decena-unidad facilitó la comparación de números arábigos (Experimento 1), pero perjudicó la ejecución cuando se usó un código verbal, tanto escrito (Experimento 2) como hablado (Experimento 3). Los resultados no son consistentes con un procesamiento de la magnitud independiente del formato de los números de dos cifras (v.g., McCloskey, 1992), por el contrario, este procesamiento parece depender del código superficial en que son presentados (v.g., Campbell, 1994).

La magnitud o el significado de cantidad es la información semántica más importante que proporcionan los símbolos numéricos. Esta información determina muchas de nuestras decisiones cotidianas como elegir la talla de pantalón que nos vamos a probar o seleccionar un producto por su precio. Uno de los temas más relevantes en la literatura sobre procesamiento numérico ha sido el estudio de la manera de procesar mentalmente la

* Esta investigación ha sido subvencionada por el Ministerio de Educación y Ciencia (con un contrato Ramón y Cajal a P. Macizo y un proyecto de investigación SEJ2006-05728/PSI a los autores), y por la Unión Europea (beca postdoctoral a A. Herrera, RNT Marie Curie, EUR-MRTN-CT-2003-504927 asociada al proyecto europeo Numeracy and Brain Development, NUMBRA). La correspondencia concerniente a este artículo debe ser enviada a Pedro Macizo, Departamento de Psicología Experimental y Fisiología del Comportamiento, Campus de Cartuja s/n, Universidad de Granada, 18071, Granada, España. Dirección de Correo electrónico: pmacizo@ugr.es o herrera@psyka.jyu.fi

magnitud¹. La tarea más utilizada para ello ha sido la de comparación en la que la persona decide cuál de dos números es mayor (o menor). Durante la realización de esta tarea se ha observado de manera sistemática que las respuestas se hacen más lentas cuanto menor es la distancia entre los dos números que se comparan (efecto de la distancia, Banks, 1977; Moyer y Dumais, 1978; Moyer y Landauer, 1967). Además, para una distancia dada, la ejecución es peor cuanto mayores son los números comparados en la tarea (v.g., 6-9 frente a 2-5) (Antell y Keating, 1983; Sekuler y Mierkiewicz, 1977). Estas dos observaciones han llevado a proponer que el procesamiento de la magnitud numérica es de carácter analógico, en el sentido de que dicho procesamiento se rige por las mismas características que las encontradas en estudios psicofísicos (v.g., la ley de Weber-Fechner). Por ejemplo, según Dehaene (v.g., Dehaene, 1992, 2001), la representación de la magnitud numérica estaría organizada a lo largo de una línea imaginaria en que la distancia entre números consecutivos disminuye a medida que la magnitud crece, es decir, la línea numérica estaría comprimida siguiendo una función logarítmica (ver Verguts, Fias, y Stevens, 2005, para una revisión de las diferentes versiones de esta línea numérica). Además, desde esta perspectiva se plantea que cada número se procesa globalmente de manera que no se analizan las cifras que lo componen cuando se procesa la magnitud numérica.

La perspectiva de procesamiento global (v.g., Dehaene, 1992), explica bien los resultados obtenidos con números pequeños (entre 0 y 9). Sin embargo, los datos obtenidos en la tarea de comparación de grandes números (v.g., de tres o más cifras) sugieren que las personas analizan de forma secuencial las cifras componentes (Hinrichs, Berie y Mosell, 1982; Poltrock y Schwartz, 1984). Además, los errores de tipo sintáctico en pacientes neuropsicológicos también indican un tipo de procesamiento por cifras (v.g., escribir 5004 en lugar de 504; Noël y Seron, 1993, 1995). Este patrón de resultados puede ser explicado desde la propuesta teórica

¹ Cuando hablamos de magnitud numérica, lo hacemos en sentido amplio para referirnos a la representación mental de magnitud que llevan asociados los números. Esta representación mental de la magnitud numérica o “magnitud mental” alude a “una entidad inferida por la persona que representa la numerosidad (por ejemplo, el número de naranjas en una bolsa) u otra magnitud (por ejemplo, longitud, anchura, altura o peso de la bolsa) que tienen las propiedades formales de los números reales” (Gallistel y Gelman, 2005, p. 560). Además, el formato de presentación de la información numérica en el estudio (números arábigos, números escritos en letra y números hablados), hace que la magnitud numérica sea de naturaleza simbólica al no existir una correspondencia directa entre el concepto de magnitud y las propiedades físicas del estímulo.

defendida por McCloskey (McCloskey, 1992; McCloskey y Macaruso, 1995). Según el autor, para acceder a la información de magnitud numérica, los números deben descomponerse en sus cifras y las potencias de diez asociadas a ellas. De este modo, el número 42 estaría representado internamente como $\{4\} 10EXP1$ y $\{2\} 10EXP0$ o el número 343 como $\{3\} 10EXP2$, $\{4\} 10EXP1$ y $\{3\} 10EXP0$. Lo importante de esta postura es que todas las cifras de un número deben procesarse para obtener la información de magnitud asociada.

El mayor conflicto entre la perspectiva del procesamiento global (Dehaene, 1992) y la del procesamiento cifra a cifra (v.g., McCloskey, 1992) ha surgido a la hora de explicar cómo se procesa la magnitud de los números de dos dígitos. Aunque los primeros estudios empíricos favorecieron la idea de un análisis global (v.g., Dehaene, 1992; Dehaene, Dupoux y Mehler, 1990), recientes investigaciones muestran que los números de dos cifras son descompuestos en sus decenas y unidades cuando se accede a la representación de magnitud (Nuerk, Kaufmann, Zoppoth y Willmes, 2004; Nuerk, Weger y Willmes, 2001, 2004, 2005). Nuerk et al. (2001) utilizaron una tarea de comparación en la que se presentaban pares de números arábigos y los participantes decidían qué número era mayor. Para evaluar si las dos cifras de cada número eran procesadas, se manipuló la compatibilidad entre las decenas y las unidades. En los ensayos compatibles (v.g., 24-39), las decenas ($2 < 3$) y las unidades ($4 < 9$) orientaban hacia la misma decisión ($24 < 39$). En los ensayos incompatibles (v.g., 48-63), las decenas ($4 < 6$) y las unidades ($8 > 3$) orientaban hacia una decisión diferente. Puesto que la distancia absoluta estaba igualada en los ensayos compatibles e incompatibles (15 en el ejemplo), si los participantes procesasen los números de manera global, no se esperarían diferencias debidas a la compatibilidad. Por el contrario, los autores observaron una mejor ejecución en los ensayos compatibles frente a los incompatibles demostrando, por tanto, que las dos cifras de un número son relevantes para estimar su magnitud. Además, este efecto de compatibilidad parece robusto ya que se han ido descartando explicaciones alternativas a la idea del procesamiento de la decena y la unidad en tareas de comparación. Por ejemplo, podría pensarse que la disposición espacial de los números arábigos en la pantalla indujo a un procesamiento cifra a cifra en el estudio de Nuerk et al. (2001) puesto que los números aparecían en una columna vertical, uno encima de otro y, por tanto, resultaba fácil la comparación decena-decena y unidad-unidad. Sin embargo, esta explicación perceptiva fue descartada al observarse el efecto de compatibilidad decena-unidad en un nuevo experimento con una disposición espacial de los números que no favorecía la comparación cifra a cifra (Nuerk et al., 2004). De manera

adicional, investigaciones con técnicas de neuroimagen demuestran que el efecto de compatibilidad está vinculado al procesamiento de la magnitud numérica. En diferentes estudios se ha observado la participación de una zona de la corteza localizada bilateralmente alrededor del surco intraparietal (SIP) en tareas de comparación con números de una cifra (v.g., Göbel, Johansen-Berg, Behrens y Rushworth, 2004) y números de dos cifras (Göbel et al., 2004; Pinel, Piazza, Bihan y Dehaene, 2004). Wood, Nuerk y Willmes (2006) demostraron que la activación del SIP estaba modulada por la compatibilidad decena-unidad indicando, por tanto, que este efecto y el procesamiento de la magnitud están relacionados con las mismas regiones cerebrales.

El efecto de compatibilidad decena-unidad parece ser una prueba robusta a favor de la postura defendida por McCloskey (1992) según la cual, el procesamiento de la magnitud numérica implica la descomposición de los números en decenas y unidades. De manera adicional, McCloskey propone que la recuperación de la información de magnitud puede realizarse mediante diferentes códigos de acceso según el formato de presentación de los números. En concreto, el autor postula un código para los números arábigos (escritos en dígitos) y dos verbales para procesar los números escritos en palabras y los números hablados. Los tres códigos serían independientes y no estarían interconectados entre sí. Además, cada código llevaría asociado procesos de acceso léxico (v.g., para conocer el significado de las cifras) y sintáctico (v.g., para establecer el carácter de unidad, decena, centena, etc., de cada cifra y relacionar entre sí las diferentes cifras de un número). Los procesos léxicos y sintácticos desembocarían en la recuperación de la información de magnitud de manera independiente del código de acceso. Dicha información sería empleada en cualquier tarea de cálculo numérico y en tareas más básicas como las de comparación de la magnitud numérica (McCloskey y Macaruso, 1995).

La defensa de una representación semántica independiente del formato numérico tiene algunas implicaciones. Por ejemplo, de la postura de McCloskey (1992) se deriva que el procesamiento de la magnitud es universal y no está afectado por las variaciones entre lenguas. Estas variaciones incluyen los diferentes tipos de notación lingüística (estructura u orden de las palabras) existentes para un mismo número arábigo. Mientras que en idiomas como el inglés el orden de los números arábigos tiene una correspondencia directa con su código verbal (v.g., 42 = “forty-two”, “cuarenta-dos”), en lenguas como el alemán la correspondencia es invertida, primero se escribe la unidad y después la decena (v.g., 42 = “zweiundvierzig”, “dos-y-cuarenta”). Según el modelo de McCloskey, el efecto de la notación lingüística quedaría reflejado en la ruta de acceso

(v.g., el marco sintáctico) pero no afectaría al procesamiento de la magnitud numérica. Los resultados de varias investigaciones parecen refutar la conclusión anterior (v.g., Brysbaert, Fias y Noël, 1998; Nuerk et al., 2005). Nuerk et al. investigaron las posibles diferencias entre lenguas en el procesamiento de la magnitud comparando la ejecución de hablantes de alemán e inglés en una tarea de comparación en que se manipulaba la compatibilidad decena-unidad. Los resultados mostraron que todos los participantes, independientemente de su lengua, presentaron el efecto de compatibilidad con números arábigos. Sin embargo, hubo diferencias entre lenguas cuando la tarea se realizó en formato verbal (números escritos en letra): Solamente los hablantes de alemán mostraron una facilitación de la respuesta en los ensayos compatibles vs. incompatibles. La compatibilidad entre las cifras no afectó al grupo de hablantes de inglés; es más, estos últimos mostraron una tendencia a la inversión del efecto con una mejor ejecución en los ensayos incompatibles. Esta tendencia hacia la interferencia en los ensayos compatibles se explicaría si los hablantes de inglés hubiesen procesado únicamente la decena, debido a que la distancia absoluta entre los ensayos compatibles e incompatibles estuvo igualada: La distancia absoluta entre un par de números de dos cifras resulta de la contribución de la distancia entre la primera cifra de cada número y la distancia entre la segunda cifra de cada número (de aquí en adelante, distancia de la decena y distancia de la unidad, respectivamente). De este modo, cuando los ensayos son compatibles (v.g., el par compatible 24-39) la distancia absoluta entre ellos (15 en el ejemplo) es el resultado de sumar la distancia de la decena y la unidad ($15 = 10 + 5$). Sin embargo, cuando se computa la distancia absoluta entre dos números incompatibles (v.g., 59-74), la distancia de la unidad debe restarse de la distancia de la decena ($20 - 5 = 15$). De este modo, para igualar los ensayos compatibles e incompatibles en la distancia absoluta, se debe incrementar la distancia de la decena en los ensayos incompatibles para hacer frente a la sustracción de la distancia de la unidad. En consecuencia, si solamente se procesase la decena, se esperaría una mejor ejecución en los ensayos incompatibles derivado de la mayor distancia de la decena en estos ensayos (un caso particular del efecto de distancia numérica, Moyer y Landauer, 1967).

Las diferencias entre-lenguas y las diferencias entre-códigos numéricos observadas en el estudio de Nuerk et al. (2005) no pueden ser explicadas desde el modelo de McCloskey (1992). Respecto a las diferencias entre-lenguas, el efecto de compatibilidad observado en alemán indica que tanto la decena como la unidad son relevantes al procesar la magnitud, sin embargo, la tendencia hacia un efecto de compatibilidad opuesto en inglés sugiere que solamente la decena es importante. Estas

variaciones en la importancia de la decena y la unidad según la lengua no tendrían cabida en el modelo de McCloskey puesto que la tarea de comparación se realizaría mediante un procesamiento de la magnitud independiente de la notación lingüística. Este procesamiento de la magnitud independiente de los códigos de acceso propuesto por McCloskey, tampoco explicaría las diferencias según el formato de presentación de los números. Como vimos, los hablantes de inglés presentaban el efecto de compatibilidad con números en forma de dígitos (código arábigo) pero no con números escritos en letra (código verbal escrito).

En resumen, hemos comentado dos aspectos que merecen ser estudiados con profundidad para entender cómo las personas procesamos los números de dos cifras. Por un lado, cabe preguntarse si los números de dos cifras se procesan de manera global o, por el contrario, cifra a cifra. Por otro lado, se plantea la posibilidad de un efecto del formato de presentación de los números durante su procesamiento. Dehaene (2001) mantiene que los números de dos cifras se procesan de manera global hasta acceder a su representación mental en una línea numérica donde los números están organizados. Con respecto al formato de presentación, el autor mantiene que, aunque puede haber procesos de recodificación entre códigos (por ejemplo, un número escrito puede transformarse en un código arábigo), no hay diferencias en el procesamiento de la magnitud debidas al formato de presentación (postura independiente de formato). Por su lado, McCloskey (1992) indica que los números de dos cifras son descompuestos en sus decenas y unidades durante su procesamiento (postura cifra a cifra). Respecto al efecto del formato de presentación, al igual que Dehaene, el autor asume que el procesamiento de la magnitud no puede verse afectado por el formato numérico.

El objetivo de este estudio es investigar los aspectos referidos al procesamiento de los números de dos cifras indicados arriba. La manipulación de la compatibilidad decena-unidad nos permitirá verificar si, bajo diferentes notaciones numéricas, se observa un procesamiento cifra a cifra. Con respecto al efecto de código numérico, el estudio de Nuerk et al. (2005) demuestra que el procesamiento de la magnitud depende de la lengua en que aparecen los números escritos con letras, alemán o inglés. Es razonable suponer que las variaciones encontradas entre idiomas se deben al uso de una notación lingüística diferente, invertida en alemán (v.g., 42 = dos y cuarenta) y directa en inglés (v.g., 42 = cuarenta y dos). Sin embargo, mientras que el efecto de la compatibilidad decena-unidad en alemán es consistente y se ha replicado en numerosos estudios (Nuerk et al., 2001, 2004, 2005), solamente se ha realizado un experimento en una lengua diferente (en inglés, Nuerk et al., 2005). La notación lingüística de los

números en español es idéntica a la utilizada en inglés (orden decena-unidad), por tanto, si la notación lingüística explica las diferencias entre lenguas en la tarea de comparación de magnitud, los hablantes de español deberían comportarse como los hablantes de inglés puesto que, en ambas lenguas, la relación entre la notación arábica y verbal es directa. Esta hipótesis es contrastada en nuestra serie experimental. El resultado del Experimento 1 (números en código arábigo) y Experimento 2 (números en código verbal escrito), serán directamente comparables con los ya realizados en alemán e inglés (Nuerk et al., 2001, 2005). De manera adicional, todos los estudios previos han explorado el procesamiento de números arábigos y números escritos en palabras. A pesar de la relevancia del código auditivo en el procesamiento numérico (v.g., en tareas de conteo, Dehaene, 1992), nunca se ha evaluado su influencia en el efecto de compatibilidad. Nuestro último experimento (Experimento 3) aborda específicamente el procesamiento de la magnitud numérica con números escuchados.

EXPERIMENTO 1

El objetivo de nuestro primer experimento es comparar directamente la perspectiva del procesamiento global frente a la perspectiva del procesamiento cifra a cifra cuando se procesan números de dos cifras. Para ello, utilizamos una tarea de comparación en la que los participantes señalan el mayor de dos números presentados en formato arábigo. Desde una perspectiva global se espera que los números sean procesados como un todo sin un análisis separado de las cifras que lo componen (Dehaene et al., 1990), mientras que desde una postura opuesta (McCloskey, 1992) se mantiene que los números son descompuestos en decenas y unidades y ambas son computadas durante el procesamiento de la magnitud. Como índice de procesamiento de las decenas y las unidades tomamos el efecto de compatibilidad decena-unidad (ver introducción). En caso de procesarse los números de manera global, no habrá diferencias entre los ensayos compatibles (v.g., 24-39, decena y unidad orientan hacia la misma respuesta) e incompatibles (v.g., 48-63, decena y unidad orientan hacia diferentes respuestas). Por el contrario, en caso de procesarse tanto la decena como la unidad, se espera una mejor ejecución en los ensayos compatibles.

Como en experimentos anteriores realizados en otras lenguas con números arábigos (v.g., Nuerk et al., 2001, 2005), esperamos replicar el efecto de compatibilidad en español. De esta manera, se favorecerá la idea

de un procesamiento de la magnitud no-global, universal e independiente de la lengua cuando los números son presentados en forma de dígitos.

MÉTODO

Participantes. Treinta y dos estudiantes (25 mujeres y 7 hombres) de la Universidad de Granada, hablantes de español como lengua materna y con visión normal o corregida participaron voluntariamente en el experimento. Por su participación recibieron una bonificación académica. Ningún participante indicó tener problemas para el procesamiento lingüístico o numérico. La media de edad de los participantes fue de 21,1 años (rango entre 18 y 26 años).

Diseño y Materiales. Se utilizó un diseño factorial $2 \times 2 \times 2$ intra-sujeto. Manipulamos la compatibilidad decena-unidad (compatible, incompatible), la distancia de la decena (corta: 1-3, larga: 4-8) y la distancia de la unidad (corta: 1-3, larga: 4-8).

Siguiendo la selección de estímulos descrita por Nuerk et al. (2001, 2005), escogimos doscientos cuarenta pares de números de dos dígitos entre 21 y 98. Se excluyeron los números que denotaban decenas (v.g., 40), los cuatro dígitos que componían los pares de números fueron siempre diferentes, y los dos números de cada par nunca eran divisibles entre ellos.

Para cada par de estímulos se computaron los valores absolutos y logarítmicos de la distancia absoluta, la distancia de la decena, la distancia de la unidad y el tamaño del problema (valor promedio de los dos números presentados en un ensayo) (ver Tabla 1). Estas dimensiones fueron controladas porque se ha observado que influyen la ejecución en tareas numéricas (por ejemplo, el tamaño del problema determina especialmente la realización de tareas aritméticas, ver Domahs y Delazer, 2005, para una revisión). Para igualar los pares compatibles e incompatibles en estas medidas, se realizaron comparaciones *t*-test en cada tratamiento resultado de combinar la distancia de la decena y la distancia de la unidad. Los ensayos compatibles e incompatibles no diferían ni en la distancia de la unidad ni en el tamaño del problema tanto en sus valores absolutos como logarítmicos (todas las *ps* > 0,05). Solamente hubo diferencias en la distancia de la decena, hecho normal que se deriva de controlar la distancia absoluta² (Nuerk et al., 2001, 2005).

²Como indicamos en la introducción, cuando se controla la distancia absoluta, la distancia de la decena debe variar obligatoriamente entre los ensayos compatibles e incompatibles. En concreto, se debe incrementar la distancia de la decena porque la distancia de la unidad

De manera adicional, con el ánimo de minimizar factores estratégicos (v.g., atender solamente al primer dígito de los pares de números), se incluyeron un total de 60 pares de números de relleno con idéntica decena (distancia de la decena cero, v.g., 34-37). Por tanto, un 80% de los ensayos correspondían a comparaciones entre-decenas (ensayos experimentales) y un 20% a comparaciones intra-decena (ensayos de relleno).

Procedimiento. El experimento fue presentado en un ordenador con procesador Genuine-Intel a 2993Mhz y controlado mediante el programa E-Prime, Versión 1.1 (Schneider, Eschman y Zuccolotto, 2002). En cada ensayo se presentaban dos números situados uno encima del otro en el centro de la pantalla. Los estímulos aparecían en Courier New, tamaño de 48 puntos, en negro sobre fondo blanco y permanecían en pantalla hasta la respuesta del participante. Cada dígito cubría un ángulo visual de $1,91^\circ$ verticalmente y $1,67^\circ$ horizontalmente, calculados sobre una distancia entre el estímulo y el observador de 60 cm. El intervalo entre ensayos fue de 500 ms. Los participantes fueron instruidos para decidir tan rápidamente como fuese posible, pero sin cometer errores, cuál de los dos números presentados en cada ensayo era de mayor magnitud. Los participantes presionaban con el dedo índice de una mano un botón etiquetado en la parte de arriba del teclado si el número mayor era el de arriba o bien presionaban con el dedo índice de la otra mano un botón etiquetado en la parte de abajo del teclado si el número mayor era el de abajo. Se utilizaron adhesivos blancos para etiquetar las teclas de respuesta y diferenciarlas del resto de botones del teclado.

se hace negativa en los ensayos incompatibles. Además, este incremento en la distancia de la decena debe ser mayor cuanto mayor es la distancia de la unidad en estos ensayos. De este modo, las comparaciones *t*-test realizadas sobre la distancia de la decena (t_d) y su transformación logarítmica (t_{dlog}), no mostraron diferencias entre los ensayos compatibles e incompatibles cuando la distancia de la unidad fue corta (con distancia de la decena larga, $t_d(58) = 0,35, p > 0,73, t_{dlog}(58) = 0,36, p > 0,72$, y con distancia de la decena corta, $t_d(58) = -0,31, p = 0,76, t_{dlog}(58) = -0,39, p > 0,70$), mientras que la distancia de la decena fue mayor en los ensayos incompatible cuando la distancia de la unidad fue larga (con distancia de la decena larga, $t_d(58) = -6,45, p < 0,0001, t_{dlog}(58) = -6,81, p < 0,0001$, y con distancia de la decena corta, $t_d(58) = -8,71, p < 0,0001, t_{dlog}(58) = -8,42, p < 0,0001$). En cualquier caso, obsérvese que la distancia de la decena juega en contra del efecto de compatibilidad: Si solamente se procesase la decena, se esperaría una mejor ejecución en los ensayos incompatibles (mayor distancia de la decena) que en los compatibles (una distancia mayor facilita la tarea de comparación, Nuerk et al., 2001, 2005).

Tabla 1. Características del material utilizado en los experimentos (Comp. = Compatible, Incomp. = Incompatible, Dist. = distancia, Dif. = Diferencia, Log = transformación logarítmica en base 10. La duración está expresada en milisegundos (ms). Ver el texto principal para una descripción de las características).

| Características | Distancia decena larga | | | |
|-------------------------|------------------------|---------|------------------------|---------|
| | Distancia unidad larga | | Distancia unidad corta | |
| | Comp. | Incomp. | Comp. | Incomp. |
| Dist. absoluta | 50,40 | 50,93 | 55,93 | 51,00 |
| Dist. absoluta log | 1,70 | 1,70 | 1,74 | 1,70 |
| Dif. dist. absoluta log | 0,43 | 0,40 | 0,45 | 0,41 |
| Distancia decena | 4,47 | 5,67 | 5,40 | 5,30 |
| Distancia decena log | 0,65 | 0,75 | 0,72 | 0,71 |
| Distancia unidad | 5,73 | 5,73 | 1,93 | 2,00 |
| Distancia unidad log | 0,75 | 0,75 | 0,24 | 0,26 |
| Tamaño problema | 57,40 | 59,93 | 60,27 | 59,93 |
| Tamaño problema log | 1,75 | 1,78 | 1,78 | 1,77 |
| Número de letras | 23,73 | 23,27 | 24,20 | 24,17 |
| Número de sílabas | 10,10 | 10,13 | 10,10 | 10,07 |
| Número de palabras | 5,13 | 5,07 | 5,07 | 5,00 |
| Duración (ms) | 1980,63 | 1956,87 | 2005,43 | 2008,87 |

| Características | Distancia decena corta | | | |
|-------------------------|------------------------|---------|------------------------|---------|
| | Distancia unidad larga | | Distancia unidad corta | |
| | Comp. | Incomp. | Comp. | Incomp. |
| Dist. absoluta | 19,97 | 20,03 | 21,00 | 17,73 |
| Dist. absoluta log | 1,29 | 1,29 | 1,29 | 1,20 |
| Dif. dist. absoluta log | 0,18 | 0,16 | 0,18 | 0,14 |
| Distancia decena | 1,43 | 2,57 | 1,90 | 1,97 |
| Distancia decena log | 0,13 | 0,40 | 0,23 | 0,25 |
| Distancia unidad | 5,63 | 5,63 | 2,00 | 1,93 |
| Distancia unidad log | 0,74 | 0,74 | 0,26 | 0,24 |
| Tamaño problema | 54,22 | 57,75 | 57,20 | 61,00 |
| Tamaño problema log | 1,71 | 1,75 | 1,73 | 1,76 |
| Número de letras | 24,90 | 24,73 | 25,10 | 25,67 |
| Número de sílabas | 10,50 | 10,73 | 10,43 | 10,90 |
| Número de palabras | 5,60 | 5,53 | 5,47 | 5,67 |
| Duración (ms) | 1996,63 | 1998,80 | 2049,87 | 2064,50 |

Para controlar la disposición espacial de los números en la pantalla (arriba, abajo) y su relación con la mano de respuesta (derecha, izquierda), se crearon cuatro versiones (listas) de los 300 ensayos del experimento (240 ensayos experimentales y 60 ensayos de relleno). En las listas 1 y 2 la relación entre la disposición espacial y la mano de respuesta fue arriba-derecha, abajo-izquierda, mientras que en las listas 3 y 4 se invirtió la relación (arriba-izquierda, abajo-derecha). De manera adicional, si en un ensayo de las listas 1 y 3 aparecía un número arriba (n_1) y otro abajo (n_2); la disposición espacial de los números se invertía en las listas 2 y 4 (n_1 abajo y n_2 arriba). En las listas 1 y 2 la persona debía pulsar la tecla “u” para dar la respuesta “arriba” con la mano derecha y la tecla “b” para dar la respuesta “abajo” con la mano izquierda. En las listas 3 y 4, la persona debía pulsar la tecla “y” para dar la respuesta “arriba” con la mano izquierda y la tecla “n” para dar la respuesta “abajo” con la mano derecha. Cada participante pasaba solamente por una de las listas. Para permitir el descanso de los participantes durante el experimento, los pares de números fueron repartidos de manera aleatoria en dos bloques de 150 ensayos cada uno. La duración de cada bloque fue de aprox. 10 min y el intervalo entre ellos de aprox. 5 min. Antes de comenzar el experimento se presentó un pequeño bloque de prácticas (cinco pares de números diferentes de los experimentales) para familiarizar a los participantes con la tarea.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los ensayos de prácticas y los ensayos de relleno (distancia de la decena 0) no fueron analizados. Los ensayos en que los participantes respondieron erróneamente (4,61 % del total) fueron excluidos del análisis. Siguiendo el procedimiento empleado en otros experimentos sobre el procesamiento de la magnitud numérica (v.g., Dehaene, Bossini y Giroux, 1993; Fias, 2001), evaluamos la posibilidad de un sesgo en nuestros datos por el incremento de la rapidez de la respuesta en detrimento de la precisión, correlacionando el tiempo de reacción y el porcentaje de errores para cada una de celdas del diseño experimental. La posibilidad de este sesgo entre las medidas de respuesta quedó descartada al observar una fuerte correlación positiva entre la latencia y la precisión de respuesta, $r = 0,90$, $p < 0,002$. Debido a la estrecha relación observada entre las variables dependientes, solamente informamos de los análisis de una de ellas, la latencia de respuesta (ver una aproximación similar en, v.g., Dehaene et al., 1993; Fias, 2001; Fias, Brysbaert, Geypens y D’Ydewalle, 1996).

Para filtrar los datos seguimos el procedimiento descrito por Nuerk et al. (2001). Inicialmente, excluimos los tiempos de reacción (TRs) fuera del rango de 300-3000 ms. Posteriormente, se eliminaron los ensayos mayores o menores que 3 *DT* del TR promedio de cada participante. El porcentaje de ensayos filtrados fue de 1,54 %. Se realizaron análisis de varianza tomando como variable de distribución aleatoria a los participantes (F_1) y a los ítems (F_2). En los análisis por participantes los factores manipulados fueron introducidos como variables intra-sujeto, mientras que en los análisis por ítems fueron considerados variables entre-items. Finalmente, para explorar el efecto que las variables manipuladas tenían en la ejecución junto con otros posibles factores explicativos, realizamos análisis de regresión sobre el promedio de TRs a través de los sujetos para cada uno de los ítems.

En la Tabla 2 se presentan los resultados obtenidos en el experimento según la distancia de la decena, la distancia de la unidad y la compatibilidad decena-unidad.

El efecto principal de la distancia de la decena fue significativo en el análisis por participantes, $F_1(1, 31) = 207,18, p < 0,001$, y en el análisis por ítems, $F_2(1, 232) = 267,25, p < 0,001$. Los participantes respondieron más lentamente en los ensayos con una distancia de la decena corta que con una larga (94 ms de diferencia). El efecto de compatibilidad también resultó significativo, $F_1(1, 31) = 30,49, p < 0,001, F_2(1, 232) = 18,88, p < 0,001$. Los ensayos compatibles se asociaron a tiempos de reacción más rápidos que aquellos incompatibles (23 ms de diferencia). De manera adicional, el efecto de compatibilidad estuvo modulado por la distancia de la unidad en el análisis por participantes, $F_1(1, 31) = 4,18, p < 0,05, F_2(1, 232) = 1,22, p > 0,27$. Aunque los ensayos compatibles fueron respondidos más rápidamente que los incompatibles, tanto con unidades de distancia larga, $F_1(1, 31) = 22,82, p < 0,001, F_2(1, 232) = 14,85, p < 0,001$, como corta, $F_1(1, 31) = 15,47, p < 0,001, F_2(1, 232) = 5,25, p < 0,02$; el efecto de compatibilidad fue de mayor magnitud con unidades de distancia larga (30 ms) que con unidades de distancia corta (17 ms). Finalmente, la interacción entre la compatibilidad y la distancia de la decena se aproximó a la significatividad en el análisis por participantes, $F_1(1, 31) = 3,72, p < 0,06, F_2(1, 232) = 1,21, p > 0,27$. Se observó un efecto de compatibilidad tanto en ensayos con distancia de la decena larga, $F_1(1, 31) = 12,94, p < 0,001, F_2(1, 232) = 5,27, p < 0,02$, como corta, $F_1(1, 31) = 25,83, p < 0,001, F_2(1, 232) = 14,81, p < 0,001$. Sin embargo, la diferencia entre ensayos compatibles e incompatibles fue mayor con una distancia de la decena corta (30 ms) que larga (17 ms). Ningún otro efecto principal o interacción fue significativo (todas las $ps > 0,05$).

Tabla 2. Tiempos de reacción promedio (en milisegundos) y error estándar (entre paréntesis) en función de la compatibilidad decena-unidad (compatible, incompatible), la distancia de la decena (larga, corta) y la distancia de la unidad (larga, corta), obtenidos en el Experimento 1 con presentación de números arábigos. Efecto de compatibilidad = Ensayos incompatibles menos ensayos compatibles.

| | Compatible | Incompatible | Efecto de compatibilidad |
|------------------------|------------|--------------|--------------------------|
| Distancia Decena larga | | | |
| Distancia Unidad larga | 681 (17,4) | 703 (16,0) | 22** |
| Distancia Unidad corta | 680 (17,5) | 692 (17,1) | 12* |
| Distancia Decena corta | | | |
| Distancia Unidad larga | 762 (21,2) | 800 (21,8) | 38*** |
| Distancia Unidad corta | 775 (21,2) | 796 (22,3) | 21** |

Nota. * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$

Por otro lado, realizamos análisis de regresión sobre los TRs incluyendo inicialmente todos los factores relativos al procesamiento numérico controlados en el experimento (ver Tabla 1) y considerados tradicionalmente en regresiones múltiples realizadas en tareas de comparación (v.g., Nuerk, 2001, 2005). El principal objetivo de estos análisis fue explorar la relación entre los TRs y la distancia entre los dígitos (decenas y unidades) medidas como puntuaciones directas y como puntuaciones logarítmicas. La disociación entre puntuaciones directas y logarítmicas de la distancia no pudo realizarse en el análisis de varianza puesto que los grupos de distancia larga y corta diferían irremediabilmente en estas dos puntuaciones. Esta disociación es importante teóricamente en tanto que, como indicamos en la introducción, algunos autores han planteado que los números están mentalmente representados en una línea numérica de carácter comprimido, de tal modo que la distancia entre ellos sigue una función logarítmica (Dehaene, 1992). Si esta afirmación es correcta, las distancias logarítmicas entre dígitos serán mejores predictores de la ejecución en la tarea de magnitud que las distancias medidas en puntuaciones directas.

Las variables introducidas en el análisis de regresión fueron la distancia absoluta, la transformación logarítmica de la distancia absoluta, la diferencia del valor logarítmico de la distancia absoluta, el tamaño del problema, la transformación logarítmica del tamaño del problema, la distancia de la decena, el logaritmo de la distancia de la decena, la distancia de la unidad (codificada positivamente para los ensayos compatibles y negativamente para los incompatibles, v.g., -4 en el ejemplo 36-42, y +4 en el ejemplo 46-32), la distancia logarítmica de la unidad, y la compatibilidad. Solamente cuatro de los factores introducidos en la ecuación predijeron significativamente la variabilidad de los TRs ($R = 0,81$, R^2 ajustada = 0,65): Los tiempos de reacción fueron menores cuando se incrementaba la distancia absoluta, $b = -0,389$, $t(235) = -2,65$, $p < 0,01$, el logaritmo de la distancia, $b = -0,387$, $t(235) = -2,63$, $p < 0,01$, el tamaño del problema, $b = -0,111$, $t(235) = -2,88$, $p < 0,004$, y la distancia de la unidad, $b = -0,193$, $t(235) = -5,02$, $p < 0,001$.

Debido al patrón de resultados observado en los análisis de varianza, esperábamos que la distancia de la decena fuese un factor predictivo de la latencia de respuesta, sin embargo, esta variable no alcanzó la significatividad ($p > 0,05$). Un análisis detallado de las relaciones entre los predictores introducidos en la regresión mostró que la distancia de la decena y su transformación logarítmica presentaban una fuerte correlación con otras variables (v.g., valores entre $r = 0,93$ y $r = 0,97$, con la distancia absoluta entre números y su transformación logarítmica). Cuando la correlación entre dos predictores es mayor de 0,80 existen serios problemas de colinealidad que pueden alterar el resultado de los análisis de regresión (Nie, Hull, Jenkins, Steinbrenner y Brent, 1975). Por tanto, para eliminar estos problemas, realizamos nuevos análisis de regresión incluyendo solamente los factores de interés teórico (distancia de la decena y de la unidad). Estos análisis se realizaron por separado para las puntuaciones directas y logarítmicas de las distancias entre dígitos. Las dos variables introducidas en el análisis con puntuaciones directas explicaron variabilidad de los TRs, la distancia de la decena, $b = -0,78$, $t(237) = -19,59$, $p < 0,001$, y la distancia de la unidad, $b = -0,37$, $t(237) = -9,25$, $p < 0,001$. Los tiempos de reacción fueron menores cuanto mayor era la distancia de la decena y la distancia de la unidad (correlaciones parciales $r = -0,79$ y $r = -0,51$, respectivamente). En el análisis con distancias logarítmicas como predictores, solamente fue significativo el efecto de la distancia de la decena, $b = -0,68$, $t(237) = -14,42$, $p < 0,001$ (correlación parcial $r = -0,68$); sin embargo, la distancia de la unidad no predijo variabilidad de los tiempos de reacción, $b = -0,01$, $t(237) = -0,04$, $p > 0,97$. El efecto de la distancia de la decena y de la unidad con puntuaciones directas converge con los

resultados del análisis de varianza al observarse un efecto de ambos factores. Sin embargo, la propuesta de una línea mental de naturaleza comprimida, parece solamente ajustarse al procesamiento de las decenas y no al de las unidades de los números de dos cifras.

Los resultados muestran que la realización de una tarea de comparación con dígitos arábigos está influida por la distancia de la decena. De este modo, cuando la distancia entre dos decenas es corta, la ejecución empeora porque resulta más difícil discriminar entre números que ocupan posiciones próximas en la representación analógica de la distancia numérica (v.g., Buckley y Gilman, 1974; Moyer, 1973). De manera adicional, el efecto de compatibilidad pone de manifiesto que las unidades también son codificadas e influyen en la ejecución de la tarea: Los participantes respondieron más rápidamente cuando los pares de números eran compatibles, es decir, cuando las decenas y las unidades orientaban hacia la misma respuesta. Además, los análisis de regresión van en la misma dirección al mostrar que tanto la distancia de la decena como la distancia de la unidad predicen las latencias de respuesta. Por tanto, nuestros datos sugieren que los números de dos dígitos son descompuestos en decenas y unidades, de acuerdo con el modelo propuesto por McCloskey (1992) y contrario a lo predicho por la postura global de Dehaene et al. (1990).

Podría argumentarse que el efecto de compatibilidad fue debido a una interferencia de respuesta general sin necesidad de estar relacionado con el procesamiento numérico. Es decir, en los ensayos incompatibles existiría un conflicto entre las respuestas que se derivan del procesamiento de la unidad y de la decena. Sin embargo, si esta explicación fuese correcta, el efecto de compatibilidad no estaría modulado por la distancia de la decena o de la unidad en tanto que la interferencia estaría presente en cualquier caso. Por el contrario, el patrón de interacciones observado en el experimento sugiere que el efecto de compatibilidad no se reduce a una interferencia de respuesta y estuvo determinado por el procesamiento de la decena y la unidad: Por un lado, la peor ejecución en los ensayos incompatibles frente a los compatibles fue más evidente cuando el procesamiento de la decena era más difícil (distancia de la decena corta frente a larga). Por otro lado, el efecto de compatibilidad fue mayor cuanto más fácil era computar las distancias de las unidades (distancia de la unidad larga frente a corta).

El efecto de compatibilidad observado en nuestro primer experimento con presentación de números arábigos es similar al observado en alemán (v.g., Nuerk et al., 2001, 2005) e inglés (Nuerk et al., 2005). La consistencia del efecto a través de los idiomas indica que la forma de procesar los números arábigos de dos cifras es universal y da lugar a un procesamiento

de la magnitud disociado para las decenas y las unidades. Además, nuestros datos sugieren que el código arábigo no se ve afectado por los cambios en la notación lingüística a través de los idiomas (orden de las palabras) puesto que el patrón de resultados se mantiene al variar la lengua. Sin embargo, es posible que la influencia de la notación lingüística sea evidente cuando el código numérico es verbal. En el siguiente experimento abordamos este tema, cambiando los números arábigos usados en este experimento por números escritos en palabras.

EXPERIMENTO 2

El objetivo principal de nuestro segundo experimento es investigar si el procesamiento de la magnitud en los números de dos cifras depende del formato de presentación o si, por el contrario, dicho procesamiento es independiente. Para ello, continuamos explorando el efecto de la compatibilidad decena-unidad considerado en nuestro Experimento 1. En caso de existir un procesamiento de la magnitud numérica independiente del formato, los resultados de este experimento deben ser idénticos a los observados en nuestro Experimento 1, puesto que la única variación entre ellos fue el código numérico empleado.

Nuerk et al. (2005) observó claras diferencias al comparar los números escritos con letras en alemán frente a los escritos en inglés. El efecto de compatibilidad se observó únicamente en alemán, es decir, tan solo en este idioma se procesó tanto la decena como la unidad. El autor sugirió que las diferencias entre lenguas podrían estar causadas por las variaciones en la notación lingüística. Cuando se realizan comparaciones de magnitud entre decena (v.g., 23-94) la cifra necesaria para responder correctamente es la que denota la decena mientras que la unidad es irrelevante. En alemán se favorece el procesamiento de la cifra irrelevante (la unidad) al aparecer antes que la decena cuando los números son palabras escritas (23 = “dreiundzwanzig”, “tres-y-veinte”), mientras que en inglés la notación lingüística favorece el procesamiento de la decena al seguir el orden decena-unidad (23 = “twenty-three”, “veinte-tres”). Si esta explicación es correcta, una influencia de la notación verbal en español favorecería, como en inglés, el procesamiento de la decena y reduciría el de la unidad eliminando, posiblemente, el efecto de compatibilidad encontrado en nuestro primer experimento. Este patrón de resultados favorecerá la idea de un procesamiento de la magnitud numérica dependiente del formato de presentación de los números de dos cifras.

MÉTODO

Participantes. Participaron treinta y dos nuevos estudiantes (24 mujeres y 8 hombres) con características similares a las descritas en el Experimento 1. La media de edad de los participantes fue de 21,8 años (rango entre 19 y 28 años). Ningún participante indicó tener problemas para el procesamiento lingüístico o numérico.

Diseño y Materiales. El diseño y materiales empleados fueron los mismos que los descritos en el Experimento 1 con la excepción del uso de números escritos en palabras en vez de números arábigos.

Además de los factores numéricos controlados en el Experimento 1, realizamos nuevos análisis para igualar el posible efecto de variables lingüísticas fruto de utilizar números presentados en código verbal. La longitud en número de letras de los dos números escritos en palabras fue de $M = 24,47$ ($DT = 1,76$), el número de sílabas promedio fue de $M = 10,37$ ($DT = 1,11$), y el número de palabras promedio de $M = 5,32$ ($DT = 0,95$; ver Tabla 1 para el desglose por condición). Los ensayos compatibles e incompatibles fueron equiparados a través de los cuatro tratamientos derivados del cruce factorial de la distancia de la decena (larga o corta) y de la unidad (larga o corta) en las tres variables lingüísticas consideradas (todas las comparaciones t -test con $ps > 0,05$).

Procedimiento. El procedimiento fue idéntico al descrito en el Experimento 1. La única diferencia fue la presentación de números escritos en palabras en vez de números arábigos. Cada letra cubría un ángulo visual vertical de $1,91^\circ$ y un ángulo visual horizontal de $1,43^\circ$, calculados sobre una distancia entre el estímulo y el observador de 60 cm.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El porcentaje de ensayos en que los participantes respondieron erróneamente fue de 6,08 %. Siguiendo el procedimiento empleado en el Experimento 1, descartamos la posibilidad de un sesgo en nuestros datos por el incremento de la rapidez de la respuesta en detrimento de la precisión, al observar una correlación positiva entre los tiempos de reacción y la precisión de respuesta a través de los ocho tratamientos del experimento, $r = 0,86$, $p < 0,006$. El porcentaje de TRs filtrados según la aproximación descrita en nuestro primer experimento fue de 1,89 %. En la Tabla 3 se presentan los resultados obtenidos en este experimento según las

tres variables manipuladas (la distancia de la decena, la distancia de la unidad y la compatibilidad decena-unidad).

Tabla 3. Tiempos de reacción promedio (en milisegundos) y error estándar (entre paréntesis) en función de la compatibilidad decena-unidad (compatible, incompatible), la distancia de la decena (larga, corta) y la distancia de la unidad (larga, corta), obtenidos en el Experimento 2 con presentación de números escritos en palabras. Efecto de compatibilidad = Ensayos incompatibles menos ensayos compatibles.

| | Compatible | Incompatible | Efecto de compatibilidad |
|------------------------|-------------|--------------|--------------------------|
| Distancia Decena larga | | | |
| Distancia Unidad larga | 1072 (39,3) | 1000 (33,9) | -71*** |
| Distancia Unidad corta | 1028 (38,3) | 1025 (39,7) | -2 |
| Distancia Decena corta | | | |
| Distancia Unidad larga | 1205 (42,7) | 1151 (40,1) | -54*** |
| Distancia Unidad corta | 1135 (41,7) | 1169 (39,5) | 34* |

Nota. * $p < 0,05$, *** $p < 0,001$

El efecto principal de la distancia de la decena fue significativo en el análisis de participantes, $F_1(1, 31) = 302,44$, $p < 0,001$, y en el de ítems, $F_2(1, 232) = 125,62$, $p < 0,001$. Los participantes respondieron más lentamente en los ensayos con una distancia corta de decena que con una larga (134 ms de diferencia). Por otro lado, la diferencia entre unidades de distancia larga y corta fue significativa en el análisis por participantes, $F_1(1, 31) = 4,34$, $p < 0,04$, $F_2(1, 232) = 1,65$, $p > 0,20$. Las unidades de distancia larga se procesaron más lentamente que las unidades de distancia corta (18 ms de diferencia). El efecto de compatibilidad resultó significativo en el análisis por participantes, $F_1(1, 31) = 20,47$, $p < 0,001$, y marginalmente significativo en el análisis por ítems, $F_2(1, 232) = 3,19$, $p < 0,07$. En este caso, el efecto de compatibilidad fue inverso, de tal manera que los ensayos compatibles se asociaron a tiempos de reacción más lentos que aquellos

incompatibles (23 ms de diferencia). Además, la compatibilidad estuvo modulada por la distancia de la unidad, $F_1(1, 31) = 17,91, p < 0,001, F_2(1, 232) = 12,69, p < 0,001$. Los tiempos de reacción fueron más lentos en los ensayos compatibles que en los incompatibles (63 ms de diferencia) cuando la distancia de la unidad era larga, $F_1(1, 31) = 30,67, p < 0,001, F_2(1, 232) = 14,31, p < 0,001$. Sin embargo, el efecto de compatibilidad no se observó cuando la distancia de la unidad era corta, $F_1(1, 31) = 2,61, p > 0,12, F_2(1, 232) = 1,58, p > 0,21$. Ninguna otra interacción resultó significativa (todas las $ps > 0,05$).

Siguiendo el procedimiento empleado en el Experimento 1, realizamos análisis de regresión sobre los TRs introduciendo como factores predictores la distancia absoluta, la transformación logarítmica de la distancia absoluta, la diferencia del valor logarítmico de la distancia absoluta, el tamaño del problema, la transformación logarítmica del tamaño del problema, la distancia de la decena, el logaritmo de la distancia de la decena, la distancia de la unidad, la distancia logarítmica de la unidad, y la compatibilidad. De manera adicional, incluimos en los análisis las variables relativas a la naturaleza verbal escrita de los números: el número de letras, el número de sílabas y el número de palabras. Las variables que explicaron de manera significativa la varianza de los TRs fueron el tamaño del problema, $b = -2,32, t(226) = -5,38, p < 0,001$, la transformación logarítmica del tamaño del problema, $b = 2,11, t(226) = 4,82, p < 0,001$, y el número de palabras, $b = -0,24, t(226) = -2,45, p < 0,01$. Finalmente, resultó marginalmente significativo el efecto de la distancia de la decena, $b = -0,95, t(226) = -1,86, p < 0,06$. Estos factores explicaron una cantidad importante de la variabilidad de las latencias de respuesta ($R = 0,76, R^2$ ajustada = 0,58). Sin embargo, debido a los problemas de colinealidad descritos en el Experimento 1, resultó más interesante el análisis de regresión por separado para las puntuaciones directas y logarítmicas introduciendo, en cada uno de ellos, la distancia de la decena y de la unidad como variables predictoras. Los resultados de estos análisis mostraron relevantes únicamente la distancia de la decena, $b = -0,68, t(237) = -13,89, p < 0,001$, y la distancia logarítmica de la decena, $b = -0,66, t(237) = -13,52, p < 0,001$. Los tiempos de reacción fueron menores cuanto mayor era la distancia de la decena (correlación parcial, $r = -0,67$ y $r = -0,66$, para las puntuaciones directas y logarítmicas, respectivamente). Las variables relativas a la distancia de la unidad no fueron predictores significativos de los TRs ($ps > 0,40$). Por tanto, los resultados de la regresión entran en consonancia con los análisis de varianza al subrayar la importancia de la distancia de la decena cuando se procesan números escritos en palabras. Además, la distancia de la decena

parece procesarse de manera logarítmica, de acuerdo con una representación mental de los números en una línea mental comprimida.

Como sucedía con números arábigos en nuestro primer experimento, los resultados obtenidos con números escritos con letras indican que la distancia de la decena determina la ejecución. De este modo, cuando la distancia de la decena es corta se hace más difícil la comparación entre los números. Sin embargo, en este caso, no observamos un procesamiento de la unidad. Si la unidad se hubiese procesado de forma independiente, se esperaría una mejor ejecución en los ensayos en que el resultado de la comparación de la unidad es compatible con el resultado de la comparación de la decena. No se observó facilitación en los ensayos compatibles sino un efecto de interferencia con mayores latencias de respuesta en esta condición. Como indicamos en la introducción, es esperable una mejor ejecución en los ensayos incompatibles si únicamente se procesase la decena: Para igualar la distancia absoluta entre los números, la distancia de la decena ha de ser necesariamente mayor en los ensayos incompatibles, especialmente cuando mayor es la incompatibilidad, como sucede en el caso de distancias largas entre unidades. De acuerdo con esta explicación, el efecto de interferencia obtenido en este experimento solamente estuvo presente cuando la distancia de la unidad era larga.

Aunque la interferencia observada en los ensayos compatibles sugiere que la unidad no fue procesada, el efecto principal de la distancia de la unidad fue significativo en el análisis por participantes. Sin embargo, la presencia de este efecto de la unidad no parece estar relacionada con el procesamiento de la distancia: Está ampliamente demostrado que la comparación es más fácil cuanto mayor es la distancia entre dos números (Dehaene, et al., 1990; Moyer, 1973; Moyer y Dumais, 1978; Moyer y Landauer, 1967). Por el contrario, en este caso, las unidades con distancia corta fueron procesadas más rápidamente que aquellas con distancia larga (18 ms de diferencia). Planteamos la posibilidad de que el efecto de la unidad fuese en realidad un reflejo de la longitud de los números escritos con letras. De hecho, se ha demostrado en varias investigaciones que los números son procesados más lentamente cuando se incrementa la cantidad de sílabas, tanto en tareas de comprensión numérica (v.g., Gielen, Brysbaert y Dhondt, 1991) como en tareas de producción (v.g., Eriksen, Pollack y Montague, 1970; Klapp, 1974). En nuestro estudio observamos que, tras controlar el efecto de otras variables, la distancia de la unidad se relacionó positivamente con el número de sílabas (correlación parcial, $r = 0,20$, $t(229) = 3,03$, $p < 0,003$), de tal manera que a menor número de sílabas menor era la distancia de la unidad. Por tanto, el efecto de la distancia de la unidad observado en este experimento parece estar relacionado con un efecto de

longitud silábica, de tal manera que los números escritos con letras con menor cantidad de sílabas se procesaron más rápidamente.

Los resultados observados en este estudio son similares a los obtenidos cuando los números son presentados con palabras en inglés (Nuerk et al., 2005) y sugieren que la notación lingüística determina el procesamiento de la magnitud. En idiomas con correspondencia directa entre el código arábigo y el verbal escrito se favorece el procesamiento de la decena (español e inglés), mientras que en idiomas con una correspondencia inversa entre los códigos se prima el análisis de la unidad (alemán, Nuerk et al., 2001).

EXPERIMENTO 3

En los experimentos anteriores hemos explorado la tarea de comparación de magnitud con presentación de números arábigos y números escritos en palabras. En este último experimento quisimos evaluar la influencia del código fonológico en el procesamiento de la magnitud. El formato fonológico es considerado prácticamente en todos los modelos de cognición matemática (v.g., Campbell, 1994; McCloskey y Macaruso, 1995). Además, este código numérico es el primero en adquirirse durante la infancia y sirve de base para el desarrollo de otros como el arábigo (v.g., Barrouillet, Camos, Perruchet y Seron, 2004). Sin embargo, a pesar de su importancia, los números hablados no se han investigado en relación con el efecto de compatibilidad decena-unidad.

Aunque las hipótesis están abiertas, es razonable pensar que la codificación de números escuchados sea similar a la codificación de números escritos con letras. Ambos códigos son verbales y, desde modelos psicolingüísticos clásicos, se plantea una estrecha relación entre la ortografía y fonología de las palabras, especialmente en idiomas transparentes como el español (v.g., ruta superficial en modelos de doble vía, v.g., Coltheart y Rastle, 1994). Además, en muchas propuestas teóricas se supone que el análisis ortográfico/morfológico de la palabra escrita y el fonético/fonológico de la palabra hablada dan lugar a la recuperación de una representación léxico/semántica común (v.g., Forster, 1976; Morton, 1969).

Por tanto, el objetivo de este experimento es continuar explorando la dependencia o independencia del procesamiento de la magnitud numérica respecto del formato en que se presentan los números de dos cifras. Como planteamos en nuestro Experimento 2, si la hipótesis de la independencia es correcta, los resultados de este experimento deben ser idénticos a los hallados en el Experimento 1 puesto que la única diferencia entre ellos es el

formato numérico empleado. Por el contrario, si el código numérico es relevante, el procesamiento de números presentados auditivamente debería distar del análisis de números arábigos (Experimento 1) y aproximarse más al procesamiento de números escritos en letra (Experimento 2) puesto que, ambos, son manifestaciones de un código verbal con procesos subyacentes comunes (fonológicos, ortográficos).

MÉTODO

Participantes. Participaron treinta y dos estudiantes (23 mujeres y 9 hombres) con características similares a las descritas en los experimentos previos. La media de edad de los participantes fue de 21,6 años (rango entre 19 y 28 años). Ningún participante indicó tener problemas para el procesamiento auditivo, lingüístico o numérico.

Diseño y Materiales. El diseño y materiales empleados fueron los mismos que los descritos en los experimentos anteriores con la excepción de la presentación auditiva de los números.

Cada número de dos dígitos fue grabado de manera digital en voz masculina mediante el programa Adobe Audition, versión 1.0 (Chavez et al., 2003). La grabación de los números se realizó en dos canales (estéreo), con una velocidad de transmisión de 352 kbps, un tamaño de la muestra de sonido de 16 bits y una tasa de muestreo de 11 kHz. Los archivos fueron editados individualmente para asegurar una buena sincronización entre el inicio y el final de la señal acústica y el comienzo y la terminación del archivo de audio. Finalmente, los dos canales de cada archivo fueron normalizados en amplitud. Siguiendo este procedimiento se construyó un archivo de audio independiente para los números comprendidos entre 21 y 98 (71 archivos en total pues, como se indica en el método del Experimento 1, los números que denotaban decenas nunca fueron utilizados). La duración promedio de cada archivo fue de $M = 1003,85$ ms ($DT = 67,56$). La duración de los archivos de audio en los ensayos compatibles e incompatibles (promedio de la duración de los dos archivos de audio en cada ensayo) fue igualada a través de los distintos tratamientos del experimento: cruce factorial entre la distancia de la decena (larga o corta) y la distancia de la unidad (larga o corta) (todas las t -test con $ps > 0,05$, ver Tabla 1).

Procedimiento. La presentación auditiva de los números fue realizada mediante auriculares estéreo con regulador de volumen. Antes de comenzar el experimento los participantes ajustaron el volumen para que éste fuese confortable. En cada ensayo se presentaban dos archivos de audio correspondientes a los dos números necesarios para realizar la tarea de comparación. El intervalo entre los dos archivos fue de 500 ms. Los participantes fueron instruidos para dar su respuesta después de escuchar el segundo número del par. El tiempo de reacción fue registrado desde el inicio del segundo archivo de audio. Tras la respuesta, aparecía en pantalla un punto de fijación (***) en negro sobre fondo blanco durante 1000 ms que señalaba la llegada de un nuevo ensayo. Los participantes debían señalar lo más rápido posible, pero sin cometer errores, cuál de los dos números escuchados era de mayor magnitud. Si el número mayor era el primero, los participantes debían pulsar con el dedo índice un botón etiquetado en la parte de arriba del teclado. Si el número mayor era el segundo, los participantes debían pulsar con el dedo índice un botón etiquetado en la parte de abajo del teclado. Los botones de respuesta y su etiquetado fueron los mismos que los utilizados en los experimentos anteriores. Para controlar el orden temporal de los números (primero, segundo) y su relación con la mano de respuesta (derecha, izquierda) se crearon cuatro versiones (listas) experimentales. En la lista 1 y 2 la relación entre el orden temporal y la mano de respuesta fue primero-derecha, segundo-izquierda, mientras que en las listas 3 y 4 se invirtió la relación (primero-izquierda, segundo-derecha). De manera adicional, si en un ensayo de las listas 1 y 3 se presentaba un número (n_1) seguido de otro (n_2); el orden temporal se invertía en las listas 2 y 4 (aparecía n_2 seguido de n_1). Cada participante pasaba solamente por una de las listas. Para permitir el descanso durante el experimento, los pares de números fueron repartidos de manera aleatoria en dos bloques de 150 ensayos cada uno. La duración de cada bloque fue de aprox. 20 min y el intervalo entre ellos de aprox. 10 min. Antes de comenzar el experimento se presentó un pequeño bloque de prácticas (cinco pares de números diferentes de los experimentales) para que los participantes se familiarizaran con la tarea y ajustaran el volumen de los auriculares.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los participantes respondieron erróneamente en un 3,54 % de los ensayos. Siguiendo el procedimiento de filtrado de TRs descrito en experimentos anteriores, se excluyó del análisis un 2,12 % de observaciones. Aunque las instrucciones indicaban que la respuesta debía

darse tan pronto como se terminase de escuchar el segundo número de cada par, evaluamos la posibilidad de que los participantes anticipasen su respuesta. Aunque estas anticipaciones pueden reflejar una tendencia natural a procesar la decena (la primera parte del archivo de audio), estas respuestas son un sesgo pues se producen antes de que pueda discriminarse el número presentado (v.g., 53) de entre los posibles número intra-decena (v.g., del 51 al 59). Además, en este experimento, como en nuestro Experimento 2, esperamos que las unidades de cada número de dos cifras no fuesen procesadas cognitivamente aun habiéndose percibido. La inclusión de las respuestas anticipatorias en el análisis general sesgaría los resultados a favor de nuestra hipótesis puesto que estas respuestas fueron dadas antes de escucharse la unidad del segundo número (un estímulo, en este caso, la unidad, no puede afectar a una respuesta que ya se ha ejecutado). Por tanto, en el caso de las respuestas anticipatorias el único efecto observable debería ser el asociado con el estímulo percibido (la decena). Evaluamos las anticipaciones de respuesta editando en cada ensayo el segundo número de cada par y computando el tiempo de inicio de la unidad desde el comienzo del archivo de audio mediante claves acústicas correspondientes al primer fonema de la unidad (v.g., ruido fricativo de la /s/ en “seis” o barra de explosión del fonema oclusivo /t/ en “tres”, etc.). La duración media del segundo número fue de $M = 1004$ ($DT = 67,56$). El tiempo necesario para hacer discriminable el número (comienzo de la unidad) fue de $M = 561$ ($DT = 81,51$). Posteriormente, consideramos anticipaciones aquellas respuestas con TRs menores que el tiempo de inicio de la unidad en cada ensayo. Siguiendo este procedimiento, observamos un 21,91 % de respuestas anticipatorias que fueron descartadas de los análisis de latencia. El análisis de las respuestas anticipatorias en función de la distancia de la decena, la distancia de la unidad y la compatibilidad mostraron como único factor significativo la distancia de la decena, $F_1(1, 22) = 23,78$, $p < 0,001$, $F_2(1, 228) = 21,31$, $p < 0,001$. Los ensayos con distancia de la decena larga se asociaron a TRs menores que los ensayos con distancia de la decena corta (28 ms de diferencia). Ningún otro efecto principal o interacción resultó significativo (todas las $ps > 0,05$).

Los resultados del experimento tras eliminar el sesgo de anticipación se presentan en la Tabla 4, según la distancia de la decena, la distancia de la unidad y la compatibilidad decena-unidad. El porcentaje de errores en estos ensayos fue de 3,72 %. Como en experimentos anteriores, la posibilidad de un sesgo en nuestros datos por el incremento de la rapidez de la respuesta en detrimento de la precisión fue descartada al observar una correlación positiva entre las medidas de latencia y precisión de respuesta, $r = 0,82$, $p < 0,012$.

Tabla 4. Tiempos de reacción promedio (en milisegundos) y error estándar (entre paréntesis) en función de la compatibilidad decena-unidad (compatible, incompatible), la distancia de la decena (larga, corta) y la distancia de la unidad (larga, corta), obtenidos en el Experimento 3 con presentación auditiva de números. Efecto de compatibilidad = Ensayos incompatibles menos ensayos compatibles.

| | Compatible | Incompatible | Efecto de compatibilidad |
|------------------------|------------|--------------|--------------------------|
| Distancia Decena larga | | | |
| Distancia Unidad larga | 891 (31,8) | 859 (31,6) | -32* |
| Distancia Unidad corta | 870 (31,1) | 892 (33,8) | 22 |
| Distancia Decena corta | | | |
| Distancia Unidad larga | 957 (38,5) | 953 (33,7) | -4 |
| Distancia Unidad corta | 944 (35,3) | 941 (33,3) | -3 |

Nota. * $p < 0,05$

Los análisis mostraron significativo el efecto de la distancia de la decena, $F_1(1, 31) = 80,78$, $p < 0,001$, $F_2(1, 232) = 51,15$, $p < 0,001$. Los participantes respondieron más rápidamente en los ensayos con una distancia de la decena larga que corta (71 ms de diferencia). El efecto principal de la compatibilidad no fue significativo, $F_1(1, 31) = 0,34$, $p > 0,56$, $F_2(1, 232) = 0,11$, $p > 0,74$. Sin embargo, la compatibilidad interactuó con la distancia de la unidad por participantes, $F_1(1, 31) = 6,34$, $p < 0,02$, y marginalmente por ítems, $F_2(1, 232) = 3,66$, $p < 0,06$. De manera adicional, la interacción entre los tres factores manipulados (distancia de la decena, distancia de la unidad y compatibilidad) resultó significativa en el análisis por participantes, $F_1(1, 31) = 4,96$, $p < 0,03$, $F_2(1, 232) = 1,72$, $p > 0,19$. Para cualificar la naturaleza de las interacciones realizamos comparaciones planeadas contrastando los ensayos compatibles e incompatibles a través de los niveles del resto de variables. Cuando la distancia de la decena era corta, no hubo diferencias atribuibles a la compatibilidad ni con distancias de la unidad largas, $F_1(1, 31) = 0,09$, $p > 0,77$, $F_2(1, 232) = 0,00$, $p > 0,99$, ni con distancias de unidad cortas, $F_1(1, 31) = 0,06$, $p > 0,81$, $F_2(1, 232) = 0,37$, $p > 0,54$. Cuando la distancia de la decena era larga y la de la unidad corta, tampoco se observaron diferencias entre los ensayos compatibles e

incompatibles, $F_1(1, 31) = 2,52, p > 0,12, F_2(1, 232) = 2,64, p > 0,10$. Sin embargo, cuando la distancia de la decena y la unidad era larga, el efecto inverso de la compatibilidad fue significativo en el análisis de participantes, $F_1(1, 31) = 5,96, p < 0,02, F_2(1, 232) = 2,55, p > 0,11$. Los ensayos compatibles se respondieron más lentamente que los incompatibles (32 ms de diferencia)³.

El análisis de regresión sobre los TRs incluyó los factores empleados en el Experimento 1 (la distancia absoluta, la transformación logarítmica de la distancia absoluta, la diferencia del valor logarítmico de la distancia absoluta, el tamaño del problema, la transformación logarítmica del tamaño del problema, la distancia de la decena, el logaritmo de la distancia de la decena, la distancia de la unidad, la distancia logarítmica de la unidad, y la compatibilidad). Además, incluimos en el análisis la duración del estímulo. El único factor significativo en la ecuación de regresión fue la duración del estímulo, $b = 0,27, t(229) = 3,49, p < 0,001$. Se observó una correlación positiva entre la duración y el tiempo de reacción (correlación parcial, $r = 0,22$). Posteriormente, realizamos un nuevo análisis introduciendo solamente las variables relativas a la distancia de la decena y la unidad en dos análisis separados para las puntuaciones directas y para las puntuaciones logarítmicas. La única variable que explicó varianza de los TRs fue la distancia de la decena tanto en las puntuaciones directas, $b = -0,50, t(237) = -8,55, p < 0,001$, como en las logarítmicas, $b = -0,43, t(237) = -7,43, p < 0,001$. Al incrementarse la distancia de la decena disminuyeron las latencias de respuesta (correlación parcial, $r = -0,48$ y $r = -0,43$, para las puntuaciones directas y logarítmicas, respectivamente). El resto de las variables no fueron predictores significativos (todas las $ps > 0,05$).

El patrón de resultados obtenido en este experimento muestra que la comparación de la magnitud de dos números escuchados está determinada por el procesamiento de la decena. Por un lado, el alto porcentaje de anticipaciones de respuesta observados en el experimento sugiere que los participantes atienden al primer dígito de cada número, el que denota la decena, a pesar de que dicha estrategia impida, en muchos casos, la discriminación del número presentado. Por otro lado, observamos un efecto de interferencia debido a la compatibilidad decena-unidad. Como indicamos

³ Este efecto de compatibilidad inversa según la distancia de la decena y de la unidad fue también observado cuando realizamos el análisis con todas las observaciones (incluyendo las respuestas anticipatorias). Aunque el efecto de compatibilidad no fue significativo ($ps > 0,05$), los tiempos de reacción fueron más lentos en los ensayos compatibles que en los incompatibles cuando la distancia de la decena y de la unidad era larga (como en el análisis sin anticipaciones, 32 ms de diferencia), $F_1(1, 31) = 6,82, p < 0,01, F_2(1, 232) = 4,44, p < 0,04$.

en el Experimento 2, una peor ejecución en los ensayos compatibles frente a los incompatibles sería esperable si únicamente se procesase la decena y, como observamos en los resultados, este efecto se incrementaría en los ensayos con mayor distancia de la unidad (mayor valor negativo de la distancia de la unidad en los ensayos incompatibles, lo que implica una mayor distancia de la decena para igualar la distancia absoluta entre estos ensayos y los compatibles). Además, el hecho de observar el efecto de compatibilidad solamente en los ensayos con distancia de la decena larga (cuando es más fácil procesar la decena) sugiere, nuevamente, que este efecto estuvo determinado por el procesamiento de la decena.

Para explorar sistemáticamente las posibles diferencias debidas a la presentación de números escuchados en este experimento frente a la presentación de números escritos en letra (Experimento 2), realizamos nuevos análisis de varianza introduciendo como factor entre-grupos (intra-ítem) el formato verbal (escrito vs. auditivo). La interacción entre el formato y la distancia de la decena fue significativo, $F_1(1, 62) = 32,34, p < 0,001$, $F_2(1, 232) = 28,22, p < 0,001$, indicando que el efecto de la distancia de la decena fue mayor con números leídos vs. escuchados (63 ms de diferencia). De manera adicional, la magnitud del efecto inverso de la compatibilidad (mayor rapidez en los ensayos incompatibles) también fue mayor con números leídos vs. escuchados (19 ms de diferencia). La interacción fue significativa por participantes, $F_1(1, 62) = 5,18, p < 0,03$, y marginal por ítems, $F_2(1, 232) = 3,22, p > 0,07$. El efecto de la distancia de la unidad no varió según el formato de presentación, $F_1(1, 62) = 2,36, p > 0,13$, $F_2(1, 232) = 0,69, p > 0,41$. Por tanto, la importancia de la decena al estimar la magnitud es mayor con la presentación de números escritos con letras indicando que la forma de codificar las palabras (lectura de izquierda a derecha) pudo haber primado el procesamiento de la decena. Sin embargo, la estrategia de codificación al leer los números escritos con letras no puede ser el único factor explicativo puesto que el procesamiento de la decena continúa determinando la ejecución cuando los números son presentados auditivamente. Así pues, la notación lingüística del español parece determinar el procesamiento de la magnitud cuando se utiliza un código verbal ya sea escrito o hablado.

DISCUSIÓN GENERAL

Los experimentos descritos aquí se realizaron para evaluar la manera en que se procesan los números de dos cifras. Por un lado, quisimos explorar si el procesamiento de los números es global o si, por el contrario, se realiza cifra a cifra. Por otro lado, evaluamos la posible dependencia o

independencia del procesamiento de la magnitud numérica respecto del formato de presentación de los números. Para desarrollar estos objetivos, manipulamos la compatibilidad decena-unidad en la tarea de comparación. En los ensayos compatibles las decenas y las unidades orientaban hacia la misma decisión mientras que en los incompatibles orientaban hacia respuestas diferentes. Cuando la tarea se realizó con números arábigos hubo una facilitación de la respuesta en los ensayos compatibles (Experimento 1). Sin embargo, este efecto tornó en interferencia cuando los números fueron presentados en notación verbal (palabras escritas o auditivas, Experimentos 2 y 3, respectivamente). Si consideramos el primero de nuestros objetivos en relación con las tareas utilizadas en nuestro estudio, Dehaene (1992), defensor del procesamiento global, indicaría que cada número ocupa una posición en una línea numérica imaginaria. Para realizar la tarea de comparación, las personas computarían mentalmente la distancia absoluta entre cada par de números procesados globalmente en la línea numérica (en concreto, la transformación logarítmica de la distancia absoluta, Dehaene, 2001). Los resultados de nuestro primer experimento son, de entre los tres realizados, la prueba más directamente opuesta a esta perspectiva global. El efecto de compatibilidad obtenido sugiere que las dos cifras fueron procesadas. De manera adicional, en este experimento se observó un efecto de la distancia tanto de las decenas como de las unidades. Los resultados de nuestros Experimentos 2 y 3 (efecto de compatibilidad inverso), aunque en menor medida, son también una prueba en contra del procesamiento global. Puesto que las medidas relativas al procesamiento global de los números (la distancia absoluta obtenida tanto con puntuaciones directas como logarítmicas) fueron igualadas a través de los experimentos, la presencia de un efecto de compatibilidad (con independencia de facilitar o interferir en la ejecución), juega en contra de la postura global. Por el contrario, los efectos de compatibilidad observados en nuestros experimentos favorecen la postura de McCloskey (1992) al sugerir que el procesamiento de la magnitud de un número resulta del análisis de sus cifras y la potencia de diez asociada a ellas para saber si estas cifras son unidades, 10EXP0, decenas, 10EXP1, centenas, 10EXP2, etc. Por tanto, desde esta perspectiva, el análisis tanto de las decenas como de las unidades es importante y determina el procesamiento de la magnitud numérica.

Con respecto a nuestro segundo objetivo, las variaciones del efecto de compatibilidad a través de nuestros experimentos, facilitación con números arábigos e interferencia con formato verbal, sugieren que el procesamiento de la magnitud numérica depende del formato de presentación de los estímulos. Estos efectos dependientes de formato no pueden ser explicados desde el modelo de McCloskey (1992). Según el autor, los códigos

numéricos superficiales (arábigo, verbal-escrito y verbal-auditivo), son rutas de procesamiento independientes para acceder a una representación de la magnitud común. Las diferencias entre formatos numéricos afectarían a los procesos léxicos y sintácticos pero no determinarían la recuperación de la magnitud de un número.

Los cambios en el efecto de compatibilidad a través de los experimentos parecen estar causados por la notación lingüística (estructura u orden de las palabras) que se utiliza en español para denotar números. Como indicamos en la introducción, en idiomas como el alemán y el holandés existe una correspondencia inversa entre el código arábigo y el verbal, es decir, el orden de las cifras en los números arábigos es decena-unidad mientras que la forma de escribir o decir los números en palabras sigue el orden unidad-decena. Por el contrario, en lenguas como el español o el inglés, el orden de los números en formato arábigo y verbal es idéntico (decena-unidad). En nuestro primer experimento con presentación de números arábigos observamos una facilitación en los ensayos compatibles frente a los incompatibles (23 ms de diferencia) semejante a la encontrada en otros idiomas como el alemán (31 ms, Nuerk et al., 2001), o el inglés (18 ms, Nuerk et al., 2005). Este patrón de resultados común a través de las lenguas es esperable puesto que en los idiomas examinados se utiliza el mismo código arábigo. Sin embargo, cuando el código numérico es verbal observamos diferencias en el procesamiento dependiendo de la lengua. En alemán, la comparación de magnitud con números escritos con letras es más fácil en los ensayos compatibles frente a los incompatibles (Nuerk et al., 2005). La facilitación observada es esperable puesto que la notación lingüística del alemán favorece el procesamiento de la unidad (orden de las palabras unidad-decena). Por el contrario, nosotros encontramos que la comparación de magnitud con números escritos en español es más fácil en los ensayos incompatibles (Experimento 2). El efecto inverso se explicaría si los participantes hubiesen procesado solamente la decena debido a la necesidad de incrementar la distancia de la decena en los ensayos incompatibles para igualar la distancia absoluta entre estos ensayos y los compatibles (ver introducción para una explicación detallada). El mayor procesamiento de la decena en español cuando los números son presentados en formato verbal es congruente con la notación lingüística del idioma (orden de las palabras decena-unidad) y similar al encontrado en otras lenguas que usan la misma notación lingüística. Así, aunque en inglés no fue significativo el efecto de la compatibilidad, se observó una tendencia hacia la interferencia (Nuerk et al., 2005).

La interferencia observada con números escritos en palabras (Experimento 2), podría tener una explicación alternativa basada en estrategias de codificación. Es posible que durante la lectura de los números escritos en palabras los participantes realizasen las fijaciones oculares en la primera parte de la palabra (la decena) e ignorasen el resto (la unidad). Por tanto, la gran importancia de la decena y la poca relevancia de la unidad en el procesamiento de la magnitud no se explicaría por la notación lingüística del español sino porque, simplemente, la unidad no fue codificada. Nuestro Experimento 3 permite descartar esta explicación alternativa. Si la relevancia de la decena al procesar números escritos con letras se debe al patrón de movimientos oculares realizados durante la lectura, la influencia de la decena debería reducirse cuando los números son escuchados. Por el contrario, si la notación lingüística del español (orden de los números escritos en palabras, decena-unidad) explica los datos obtenidos al leer los números escritos con letras, los resultados deberían replicarse al escuchar números, puesto que tanto las palabras escritas como las auditivas son códigos verbales que siguen la notación lingüística de nuestro idioma. Nuestro último experimento confirmó esta hipótesis al mostrarse, nuevamente, la importancia de la decena con la presentación auditiva de números.

El efecto del código numérico observado en nuestros experimentos podría, en principio, ser explicado por el modelo de triple código descrito por Dehaene (Dehaene, 1992; Dehaene y Cohen, 1995). En este modelo se propone que cada código estaría más o menos relacionado con un tipo de operación matemática. Así, por ejemplo, el código verbal estaría ligado a las adiciones simples mientras que el arábigo se vincularía a los juicios de paridad. Además de un módulo de procesamiento verbal y otro arábigo, Dehaene propone un módulo adicional para el procesamiento de la magnitud. Este módulo estaría relacionado con tareas de estimación y comparación numérica como las realizadas en nuestros experimentos. El efecto del formato numérico y las variaciones entre lenguas encontradas en la tarea de magnitud podrían ser explicadas, según algunos autores (Nuerk et al., 2005, p. 275), por las relaciones entre los módulos descritos en el modelo de Dehaene. El módulo de procesamiento de la magnitud numérica está relacionado bidireccionalmente con el módulo arábigo y el verbal, por tanto, sería esperable que los módulos se afectasen mutuamente. Sin embargo, en nuestra opinión, este argumento no puede dar cuenta de los cambios en el procesamiento de la magnitud numérica según el formato numérico utilizado. De acuerdo con Dehaene (1992, p. 33) una entrada sensorial puede ir cambiando de un código a otro mediante un proceso de recodificación (*transcoding*) hasta encontrar el que más se ajusta a la tarea

que se realiza. Por ejemplo, los números escritos en palabras serían recodificados al formato arábigo si la persona realizase una tarea de paridad (Dehaene et al., 1993). Sin embargo, los procesos de recodificación no cambiarían el cómputo de la magnitud numérica sino que serían un puente de unión entre diferentes códigos numéricos. Por tanto, desde el modelo de triple código, el formato de presentación de los números afectaría a los procesos de recodificación entre módulos pero no al procesamiento de la magnitud numérica.

Para poder explicar el efecto del código numérico observado en nuestros experimentos, en las teorías sobre cognición matemática se debería asumir que el procesamiento de la magnitud es sensible a la forma superficial de los números. Un marco teórico de este tipo es desarrollado por Campbell (1992, 1994) con la hipótesis de la codificación compleja. Según esta postura, los números están asociados a una gran cantidad de funciones numéricas (lectura, recodificación, comparación, estimación, hechos aritméticos, etc.); en consecuencia, los números activan automáticamente una rica red de asociaciones que son relevantes o irrelevantes según el contexto de una determinada tarea. Con la práctica en tareas matemáticas se consigue una activación de contenidos más eficiente y específica, de tal modo que se reduce o inhibe la activación de la información irrelevante. En relación con los resultados encontrados en nuestro estudio, Campbell (1994, p. 4), defiende que el procesamiento de la magnitud numérica varía considerablemente según el código numérico, de tal manera que la forma superficial de los números puede influir directamente en las estrategias o procesos que se utilizan al realizar una tarea matemática. Es decir, en vez de proponer un procesamiento de la magnitud numérica independiente del contexto (McCloskey, 1992), la postura de Campbell asume que este procesamiento podría variar según la modalidad de presentación de los números (Campbell y Epp, 2005).

En resumen, los resultados obtenidos en este estudio sugieren que la manera de procesar los números de dos cifras no es global (Dehaene, 1992) sino separada para las decenas y las unidades (McCloskey, 1992). Además, el procesamiento de la magnitud parece no ser independiente (v.g., McCloskey y Macaruso, 1995) sino estar íntimamente relacionado con el formato superficial de los números (Campbell, 1994). Evidencia convergente procedente de nuevos estudios permitirá verificar estas afirmaciones. El conocimiento de la manera en que se procesan los números de dos cifras en tareas básicas como la comparación, es un paso previo y necesario para entender la manera de realizar tareas de cómputo más complejas como el cálculo aritmético. El estudio de los factores que afectan a la ejecución de estas tareas básicas (como el efecto del formato numérico

estudiado aquí) permitirá la creación de programas de entrenamiento específicos para el desarrollo de las habilidades cognitivas relativas al procesamiento numérico.

ABSTRACT

The effect of number codes in the comparison task of two-digit numbers. Three experiments were conducted to evaluate the influence of number format on the magnitude processing of two-digit numbers. The participants decided the larger of two presented numbers while the unit-decade compatibility was manipulated. A trial was compatible if both decades and units led to the same response (e.g., 24-67), while the trial was incompatible if decades and units led to different responses (e.g., 64-27). The compatibility effect depended on the format of presented numbers. The decade-unit compatibility facilitated the comparison of Arabic numbers (Experiment 1), but it hampered the performance when a verbal code was used, written code (Experiment 2) and spoken code (Experiment 3). The results are not consistent with a format-independent processing of number magnitude of two-digit numbers (e.g., McCloskey, 1992), on the contrary, this processing seems to depend on the superficial code in which they are presented (e.g., Campbell, 1994).

REFERENCIAS

- Antell, S.E. y Keating, D. P. (1983). Perception of numerical invariance in neonatos. *Child Development*, 54, 695-701.
- Banks, W. P. (1977). Encoding and processing of symbolic information in comparative judgements. En G. Bower (Ed.), *The psychology of learning and motivation* (Vol. 11, pp. 101-159). Nueva York: Academic Press.
- Barrouillet, P., Camos, V., Perruchet, P. y Seron, X. (2004). ADAPT: A developmental, asemantic, and procedural model for transcoding from verbal to Arabic numerals. *Psychological Review*, 111, 368-394.
- Brysbart, M., Fias, W. y Noël, M. P. (1998). The Whorfian hypothesis sand numerical cognition: Is “twenty-four” processed in the same way as “four-and-twenty”? *Cognition*, 66, 51-77.
- Buckley, P. B. y Gilman, C. B. (1974). Comparison of digits and dot patterns. *Journal of Experimental Psychology*, 103, 1131-1136.
- Campbell, J. I. D. (1992). In defence of the encoding-complex approach: Reply to McCloskey, Macaruso, & Whetstone. En J. I. D. Campbell (Ed.), *The nature and origins of mathematical skills* (pp. 539-556). Amsterdam: Elsevier.
- Campbell, J. I. D. (1994). Architectures for numerical cognition. *Cognition*, 53, 1-44.
- Campbell, J. I. D. y Epp, L. J. (2005). Architectures for Arithmetic. En J. I. D. Campbell (Ed.), *Handbook of Mathematical Cognition* (pp. 347-360). Nueva York: Psychological Press.
- Chavez, M., Day, R., Deyell, S., Ellis, P., Fazio, S., Green, P., et al. (2003). *Adobe Audition* (versión 1.0). <http://www.adobe.com/es/>.

- Coltheart, M. y Rastle, K. (1994). Serial processing in reading aloud: Evidence for dual-route models of reading. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 20, 1197-1211.
- Dehaene, S. (1992). Varieties of numerical abilities. *Cognition*, 44, 1-42.
- Dehaene, S. (2001). Précis of the number sense. *Mind and Language*, 16, 16-36.
- Dehaene, S., Bossini, S. y Giraux, P. (1993). The mental representation of parity and number magnitude. *Journal of Experimental Psychology: General*, 122, 371-396.
- Dehaene, S. y Cohen, L. (1995). Toward an anatomical and functional model of number processing. *Mathematical Cognition*, 1, 83-120.
- Dehaene, S., Dupoux, E. y Mehler, J. (1990). Is numerical comparison digital? Analogical and symbolic effects in two-digit number comparison. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 16, 626-641.
- Domahs, F. y Delazer, M. (2005). Some assumptions and facts about arithmetic facts. *Psychological Science*, 47, 96-111.
- Eriksen, C. W., Pollack, M. D. y Montague, W. E. (1970). Implicit speech: Mechanism in perceptual encoding? *Journal of Experimental Psychology*, 84, 502-507.
- Fias, W. (2001). Two routes for the processing of verbal numbers: Evidence from the SNARC effect. *Psychological Research*, 65, 250-259.
- Fias, W., Brysbaert, M., Geypens, F. y D'Ydewalle, G. (1996). The importance of magnitude information in numerical processing: Evidence from the SNARC Effect. *Mathematical Cognition*, 2, 95-110.
- Forster, K. I. (1976). Accessing the mental lexicon. En E. Walter y R. Wales (Eds.), *New approaches to language mechanisms* (pp. 257-287). Amsterdam: North-Holland.
- Gallistel, C. R. y Gelman, R. (2005). Mathematical cognition. En K. Holyoak y R. Morrison (Eds.), *The Cambridge handbook of thinking and reasoning* (pp. 559-588). Cambridge: Cambridge University Press.
- Gielen, I., Brysbaert, M. y Dhondt, A. (1991). The syllable-length effect in number processing is task-dependent. *Perception & Psychophysics*, 50, 449-458.
- Göbel, S., Johansen-Berg, H., Behrens, T. y Rushworth, M. F. S. (2004). Response-selection-related parietal activation during number comparison. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 16, 1536-1551.
- Hinrichs, J. V., Berie, J. L. y Mosell, M. K. (1982). Place information in multidigit number comparison. *Memory & Cognition*, 10, 487-495.
- Klapp, S. (1974). Syllable-dependent pronunciation latencies in number naming: A replication. *Journal of Experimental Psychology*, 100, 1138-1140.
- McCloskey, M. (1992). Cognitive mechanisms in numerical processing: Evidence from acquired dyscalculia. *Cognition*, 44, 107-157.
- McCloskey, M. y Macaruso, P. (1995). Representing and using numerical information. *American Psychologist*, 50, 351-363.
- Morton, J. (1969). Interaction of information in word recognition. *Psychological Review*, 76, 165-178.
- Moyer, R. S. (1973). Comparing objects in memory: Evidence suggesting and internal psychophysics. *Perception & Psychophysics*, 13, 180-184.
- Moyer, R. S. y Dumais, S. T. (1978). Mental comparison. En G. Bower (Ed.), *The psychology of learning and motivation* (Vol. 12, pp. 117-155). Nueva York: Academic Press.
- Moyer, R. S. y Landauer, T. K. (1967). Time required for judgements of numerical inequality. *Nature*, 215, 1519-1520.

- Nie, N. H., Hull, C. H., Jenkins, J. G., Steinbrenner, K. y Brent, D. H. (Eds.). (1975). *Statistical packages for the social sciences* (2ª ed.). Nueva York: McGraw-Hill.
- Noël, M. P. y Seron, X. (1993). Arabic number reading deficit: A single case study or when 236 is read (2306) and judged superior to 1258. *Cognitive Neuropsychology*, *10*, 317-339.
- Noël, M. P. y Seron, X. (1995). Lexicalization errors in writing Arabic numerals: A single-case study. *Brain and Cognition*, *29*, 151-179.
- Nuerk, H. C., Kaufmann, L., Zopoth, S. y Willmes, K. (2004). On the development of the mental number line: More, less, or never holistic with increasing age? *Developmental Psychology*, *40*, 1199-1211.
- Nuerk, H. C., Weger, U. y Willmes, K. (2001). Decade breaks in the mental number line? Putting the tens and units back in different bins. *Cognition*, *82*, B25-B33.
- Nuerk, H. C., Weger, U. y Willmes, K. (2004). On the perceptual generality of the unit-decade compatibility effect. *Experimental Psychology*, *51*, 72-79.
- Nuerk, H. C., Weger, U. y Willmes, K. (2005). Language effects in magnitude comparison: Small but not irrelevant. *Brain and Language*, *92*, 262-277.
- Pinel, P., Piazza, M., Le Bihan, D. y Dehaene, S. (2004). Distributed and overlapping cerebral representations of number, size, and luminance during comparative judgements. *Neuron*, *41*, 983-993.
- Poltrock, S. E. y Schwartz, D. R. (1984). Comparative judgments of multidigit numbers. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *10*, 32-45.
- Sekuler, R. y Mierkiewicz, D. (1977). Children's judgments of numerical inequalities. *Child Development*, *48*, 630-633.
- Schneider, W., Eschman, A. y Zuccolotto, A. (2002). *E-Prime user's guide* (Version 1.1). Pittsburg: Psychology Software Tools.
- Verguts, T., Fias, W. y Stevens, M. (2005). A model of exact small-number representation. *Psychonomic Bulletin & Review*, *12*, 66-80.
- Wood, G., Nuerk, H. C. y Willmes, K. (2005). Neural representations of two-digit numbers: A parametric fMRI study. *NeuroImage*, *29*, 358-367.

(Manuscrito recibido: 27 Octubre 2006; aceptado: 15 Febrero 2007)