

¿Son lo mismo inteligencia y funciones ejecutivas?

Alberto García-Molina, Javier Tirapu-Ustároz, Pilar Luna-Lario, Joaquín Ibáñez, Pablo Duque

Institut Universitari de Neurorehabilitació Guttmann-UAB; Badalona, Barcelona (A. García-Molina). Servei de Neuropsicología; Unidad de Rehabilitación Neurológica; Clínica Ubamir; Fundación Argibide; Elcano, Navarra (J. Tirapu-Ustároz, P. Luna-Lario). Programa de I+D+i en Neuropsicología Clínica; Área Hospitalaria Virgen Macarena; Sevilla (J. Ibáñez, P. Duque). Enterprising Solutions for Health, EH (P. Duque). España

Correspondencia:

Dr. Alberto García Molina. Institut Universitari de Neurorehabilitació Guttmann-UAB. Camí de Can Ruti, s/n. E-08916 Badalona (Barcelona).

Fax:
+34 934 977 707.

E-mail:
agarciam@guttmann.com

Aceptado tras revisión externa:
19.02.10.

Cómo citar este artículo:
García-Molina A, Tirapu-Ustároz J, Luna-Lario P, Ibáñez J, Duque P. ¿Son lo mismo inteligencia y funciones ejecutivas? Rev Neurol 2010; 50: 738-46.

© 2010 Revista de Neurología

Introducción. Con el auge de la ciencia cognitiva, el estudio de los componentes cognitivos que intervienen en la resolución de las pruebas que valoran la inteligencia adquiere especial relevancia. Desde esta perspectiva, el factor *g* se concibe como el representante de la operación de procesos cognitivos de alto nivel que controlan los programas computacionales del cerebro. Se han utilizado diferentes nombres para designar a los procesos cognitivos que subyacen al factor *g*: procesos de control, funcionamiento ejecutivo, control ejecutivo o funciones ejecutivas.

Desarrollo. Se revisa la relación de la inteligencia con la memoria de trabajo y con el constructo de las funciones ejecutivas. Asimismo, se revisa la relación entre la inteligencia y el córtex prefrontal como posible sustrato neuroanatómico de ésta.

Conclusiones. Los estudios revisados ofrecen diferentes respuestas a la cuestión de si son lo mismo inteligencia y funciones ejecutivas, siendo la hipótesis que goza de mayor aceptación la que considera que inteligencia y funciones ejecutivas se superponen en algunos aspectos, pero en otros no.

Palabras clave. Cognición. Córtex prefrontal. Funciones ejecutivas. Inteligencia. Memoria de trabajo. Neuropsicología.

Introducción

En 1924, Thurstone [1] refiere en su obra *The nature of intelligence* que una persona inteligente es aquélla que posee la capacidad de controlar sus impulsos con el fin de examinar y poder decidir analíticamente entre las diferentes alternativas que se le presentan. La representación psicométrica de este fenómeno recibe el nombre de inteligencia general o factor *g*. Con el auge de la ciencia cognitiva, adquiere especialmente relevancia el estudio de los componentes cognitivos que intervienen en la resolución de las pruebas que valoran la inteligencia. Desde esta perspectiva, el factor *g* se concibe como el representante de la operación de procesos cognitivos de alto nivel que controlan los programas computacionales del cerebro [2]. Se han utilizado diferentes nombres para designar a los procesos cognitivos que subyacen al factor *g*: procesos de control, funcionamiento ejecutivo, metacomponentes, control ejecutivo, funciones ejecutivas... siendo este último término el que goza de mayor aceptación.

Las funciones ejecutivas engloban un amplio conjunto de funciones de autorregulación que permiten el control, organización y coordinación de otras funciones cognitivas, respuestas emocionales y comportamientos. Al igual que sucede con el término inteligencia [3], la definición del constructo funciones ejecutivas se ha caracterizado por una

notable falta de consenso entre los expertos, debido a que constituye un fenómeno complejo difícil de definir conceptualmente. Así Lezak [4] concibe las funciones ejecutivas como funciones reguladoras del comportamiento humano, necesarias para formular metas, planificar la manera de lograrlas y llevar adelante el plan de manera eficaz. Duncan [5] define las funciones ejecutivas como las habilidades necesarias para mantener un conjunto de estrategias de soluciones de problemas, con el fin de alcanzar una meta. Tirapu et al [6] proponen que el concepto funciones ejecutivas hace referencia a la capacidad de hallar soluciones para un problema novedoso llevando a cabo predicciones de las consecuencias a las que nos puede llevar cada una de las soluciones imaginadas.

En los últimos años, diversos investigadores han orientado sus estudios hacia el cerebro como la base para la búsqueda de nuevas ideas sobre qué es la inteligencia y cómo medirla. Recientes estudios aportan evidencias que refuerzan la hipótesis de que el sustrato neuronal de la inteligencia podría estar neuroanatómicamente localizado en las regiones frontales del cerebro, más concretamente en el córtex prefrontal.

El propósito de este artículo es ofrecer respuestas a unas preguntas que, si bien parecen novedosas, ya vienen planteándose desde mediados del siglo pasado: ¿Son lo mismo inteligencia y funcio-

nes ejecutivas? ¿Puede existir alguna relación entre la que denominamos inteligencia como función y el córtex prefrontal como estructura? Si no es así, ¿cuál es su relación, si es que existe?

Relación entre inteligencia y funciones ejecutivas

Desde la ciencia cognitiva, el principal argumento a favor de la existencia del factor *g* está basado en las ideas planteadas por Belmont y Butterfield [7]. Según estos autores, existiría un metaproceso denominado ejecutivo central, cuyo funcionamiento es análogo al factor *g*, responsable del control y coordinación de los componentes cognitivos implicados en la resolución de problemas. Considerando tales ideas, no es extraño que algunos autores hayan señalado que el constructo neuropsicológico funciones ejecutivas guarda una estrecha relación con el factor *g*. De hecho, y a pesar de la heterogeneidad conceptual, existe acuerdo entre los investigadores de la inteligencia en que el factor *g* es la representación de una capacidad mental que implica la aptitud para razonar, planificar, resolver problemas, pensar de modo abstracto, comprender ideas complejas y aprender de la experiencia con el objetivo de lograr la adaptación del individuo al entorno. Paralelamente, desde la neuropsicología, se considera que las funciones ejecutivas son los procesos cognitivos que subyacen al comportamiento que denominamos inteligente; hacen referencia a la constelación de funciones cognitivas necesarias para la resolución de situaciones novedosas, imprevistas o cambiantes de una manera adaptativa. De alguna forma, las funciones ejecutivas emergen como procesos adaptativos orientados a disminuir la incertidumbre del entorno (predecir las consecuencias de una acción), actuando como un sistema de predicción interna por analogía. Para lograr disminuir la incertidumbre presente en el entorno, el sujeto traza posibles soluciones partiendo del conocimiento almacenado, de las demandas que provienen del ambiente, así como de las metas y objetivos perseguidos [8].

Si bien la relación existente entre factor *g* y funciones ejecutivas cobra especial relevancia en las últimas décadas, Halstead, a mediados del siglo XX, señala que las habilidades enmarcadas en el constructo inteligencia no son más que el reflejo de una capacidad que sigue una distribución normal en la población, lo cual también parece ser aplicable a las funciones atribuidas a los lóbulos frontales [9]. Si bien es cierto que no podemos caer en la falacia de

creer que funciones ejecutivas es sinónimo de funciones frontales, hemos de ver en los planteamientos de Halstead una de las primeras aproximaciones al estudio del factor *g* psicométrico y sus procesos cognitivos subyacentes. En esta línea, se han hallado relaciones entre las pruebas psicométricas que valoran el factor *g* y el rendimiento en los test que evalúan las funciones ejecutivas.

Duncan et al [10] comparan la ejecución de cuatro pacientes con lesiones frontales en una versión reducida de la *Wechsler Adult Intelligence Scale-Revised* (WAIS-R) y el *Cattell's Culture Fair Test*, hallando una importante discrepancia entre ambas pruebas: los resultados en el *Cattell's Culture Fair Test* son sustancialmente inferiores a los obtenidos en el WAIS-R. Estos autores sugieren que la diferencia observada en la ejecución de ambas pruebas puede explicarse a partir de la división del factor *g* psicométrico en inteligencia fluida (If) e inteligencia cristalizada (Ic) propuesta por Cattell. Según Cattell [11,12], la If está vinculada con las capacidades necesarias para razonar, crear nuevos conceptos, establecer relaciones, resolver problemas... en definitiva, aquellas habilidades necesarias para adaptarse satisfactoriamente a estímulos desconocidos o bien situaciones cambiantes. Tal capacidad estaría ligada al desarrollo neurológico, estando libre de las influencias culturales o sociales. Por su parte, la Ic está relacionada con el entorno y la estimulación, así como con los conocimientos que aumentan con la experiencia y el aprendizaje. Si bien ambas inteligencias tienen un componente hereditario y de aprendizaje, el aspecto biológico tiene un mayor peso en la If y el cultural en la Ic. Duncan et al proponen que, puesto que la Ic es más resistente que la If a las lesiones frontales, los sujetos con esas lesiones presentan alterada su If y no su Ic.

Obonsawin et al [13] estudian en 123 sujetos normales la relación entre una medida de inteligencia general (WAIS-R) y test ejecutivos convencionales (*Controlled Oral Association Test*, *Modified Card Sorting Test*, test de Stroop, torre de Londres, *Cognitive Estimates Test* y *Paced Auditory Serial Addition Task*). Hallan que los test ejecutivos correlacionan significativamente con los resultados en el WAIS-R, lo que les lleva a afirmar que los test ejecutivos administrados constituyen una excelente medida de inteligencia general. Zook et al [14] valoran, en una muestra de 85 sujetos normales, la contribución de la If, la memoria operativa y la inhibición en la ejecución de dos test ejecutivos (torre de Hanoi y torre de Londres). La If, valorada mediante el subtest 'razonamiento con matrices' del *Wechsler Adult Intelligence Scale-III* (WAIS-III), parece

ser el mejor predictor de la ejecución en la torre de Londres, mientras que tanto la memoria operativa, como la inhibición y la If son buenos predictores de la ejecución en la torre de Hanoi. Según estos autores, las diferencias observadas se deben a que los procesos cognitivos que intervienen en la resolución de estos test no son exactamente los mismos. La importancia de la If en la ejecución de la torre de Londres respondería al hecho que el sujeto debe ser capaz de adaptarse satisfactoriamente a situaciones cambiantes a fin de resolver un nuevo problema en cada ensayo. Friedman et al [15] han estudiado la relación entre medidas de If, Ic y funciones ejecutivas en sujetos normales, tomando como punto de partida el modelo factorial propuesto por Miyake et al [16]. Este modelo describe tres componentes ejecutivos claramente diferenciados, aunque no totalmente independientes (actualización, inhibición y alternancia). Los resultados muestran una fuerte relación entre la capacidad de actualización y la inteligencia, tanto If como Ic. La escasa relación entre inteligencia y los otros componentes de las funciones ejecutivas (inhibición y alternancia) vendría explicada, según estos autores, por la incapacidad de las medidas de inteligencia utilizadas para valorar tales capacidades cognitivas.

Retomando los estudios realizados por Duncan et al en pacientes con daño cerebral, Wood y Liossi [17] examinan, en un muestra formada por 118 pacientes con lesiones cerebrales graves, la relación entre la ejecución en el WAIS-III, como medida de inteligencia general, los resultados en test ejecutivos considerados ecológicos –*Hayling Sentence Completion Test* y *Brixton Spatial Anticipation Test*, *Zoo Map* y *Key Search* de la *Behavioural Assessment of the Dysexecutive Syndrome (BADS)*– y dos medidas ejecutivas convencionales (*Trail Making Test-B* y *Controlled Oral Association Test*). Las correlaciones obtenidas por Wood y Liossi entre las medidas ejecutivas convencionales y el WAIS-III son de una magnitud comparable a las correlaciones entre los test ejecutivos ecológicos y el WAIS-III. El análisis factorial realizado con los test ejecutivos identifica dos componentes principales que permiten explicar el 52,9% del total de la variabilidad. El primero de estos factores (factor e) estaría representado por el *Zoo Map* y *Key Search* de la *BADS*, junto con el *Trail Making Test-B*, y reflejaría el componente específico de los test ejecutivos. El segundo factor contiene el *Hayling Sentence Completion Test* y el *Brixton Spatial Anticipation Test*, y podría considerarse que refleja el factor g, puesto que muestra una alta correlación con los resultados en el WAIS-III.

Relación entre inteligencia y memoria de trabajo

En otra línea de investigación, paralela a la descrita en los párrafos anteriores, diversos autores han estudiado la posible relación entre la inteligencia y un sistema cognitivo íntimamente ligado al constructo funciones ejecutivas: la memoria de trabajo (MT). Si bien existe cierto acuerdo acerca de la relación que hay entre inteligencia y MT, aún está lejos el consenso sobre su naturaleza y sus causas. La variabilidad conceptual y terminológica, en los procedimientos de medida y en los métodos estadísticos, explicaría las diferentes, e incluso contradictorias, conclusiones a las que llegan los autores que han estudiado esta relación. Pese a ello, diversas publicaciones aporan evidencias a favor de tal relación [18-23].

A finales de los años ochenta, Ackerman [24] publica uno de los primeros artículos que aborda la relación entre MT e inteligencia. Este autor demuestra que la ejecución en tareas novedosas correlaciona estrechamente con medidas de habilidades generales (las cuales incluyen medidas de razonamiento o factor g). Específicamente, el trabajo de Ackerman encuentra una estrecha relación entre la ejecución en una tarea y el factor g cuando ésta es novedosa para los participantes; relación que disminuye sustancialmente a medida que se adquiere destreza en ella (y presumiblemente la necesidad de procesamiento controlado decrece).

En un interesante estudio, Engle et al [25] aplican a una muestra de 133 sujetos tareas de MT, memoria a corto plazo (MCP), If e Ic, analizando posteriormente las relaciones que se establecen entre estas variables. El modelo de ecuación estructural generado sugiere que la MT y la MCP constituyen constructos separados, pero estrechamente relacionados. Según los autores, este resultado indicaría que la MCP es un subconjunto de la MT. Lo que diferenciaría ambos constructos sería el control ejecutivo, especialmente cuando se confronta a los sujetos con distractores, tanto internos como externos, y existe interferencia o competencia entre la información. Engle et al proponen que la relación entre la MCP y la If referida por diversos estudios [23,26,27] está mediatisada por la MT; si se controlan estadísticamente las diferencias individuales en MT, la relación entre MCP y If decrece, mientras que si se controlan estadísticamente las diferencias individuales en MCP, las relaciones entre MT e If permanecen inalteradas. Así, y en la misma línea planteada por Cowan [28,29], Engle et al defienden que la MCP es un sistema mnésico de almacenamiento de elementos por un breve período de tiempo fuera del foco

atencional y de la conciencia, mientras que la MT engloba los contenidos de la MCP que se encuentran bajo control atencional o en el foco de la conciencia. Por otro lado, cuando la varianza común de MCP y MT se trata como una variable latente separada, la correlación entre la varianza residual en la variable latente MT y la If es significativa, pero no la correlación entre la varianza residual de MCP y If. De esta forma, Engle et al argumentan que la MT y la If expresan la habilidad del individuo para mantener activas representaciones mentales (principalmente en condiciones de interferencia y distracción). Según su planteamiento, aquello común que subyace a MT y If es el control atencional, y expresan la relación entre MT, MCP y If de la siguiente forma: MT = MCP + ejecutivo central. Esta idea es consistente con las ideas presentadas por Kyllonen y Christal [23] y Stankov [30,31]. Por último, respecto al papel y la utilidad de la MCP, los resultados obtenidos por Engle et al muestran que la MCP está estrechamente relacionada con la capacidad de los sujetos para ejecutar tareas verbales. Las tareas que miden la MCP tienen una fuerte carga verbal y el desempeño en ellas está relacionado con los rendimientos en los test de Ic. Así, postulan que mientras que la MT no depende de una modalidad específica, la MCP sí depende de los materiales empleados en las tareas, así como de la naturaleza de la codificación y el repaso que exigen.

En un trabajo posterior, Engle [32] propone que la MT es teóricamente equivalente al concepto de inteligencia humana propuesto por Cattell [33] y Horn [34]. Su punto de vista, derivado de Baddeley y Hitch [35], contempla procesos dependientes de dominio y control atencional libre de dominio, de forma que las diferencias individuales en tareas de MT podrían explicarse por uno de estos dos componentes o por ambos. Asimismo, apuesta por la utilización de tareas de MT duales [36-38] que, en la medida que implican atención dividida y demandan por ello control atencional, constituirían buenas herramientas para predecir la If.

Paralelamente, Kane y Engle [39] proponen el concepto de 'atención-ejecutiva' para articular las investigaciones sobre capacidad de memoria de trabajo (CMT) –capacidad del componente de atención-ejecutiva de la MT–, If y función del córtex prefrontal (CPF). Más que ofrecer una nueva teoría de la función del CPF, sintetizan la riqueza de la investigación en neurobiología, neuroimagen y neuropsicología desde la teoría de las diferencias individuales en CMT y control atencional en personas normales [25,40]. Kane y Engle indican que el circuito CPF dorsolateral (CPFd) es clave en la red anterior y pos-

terior de estructuras cerebrales implicadas en la 'atención-ejecutiva', desempeñando un destacado papel en el mantenimiento activo al acceso a las representaciones de los estímulos y metas en contextos ricos en interferencia. Proponen que las diferencias individuales en CMT e If pueden ser mediadas por diferencias individuales en el circuito CPMFd, y que el factor común entre CMT, If y función del CPMFd es el grado en el cual una tarea requiere que la representación permanezca activa en la memoria.

Heitz et al [41] apuntan dos explicaciones alternativas al control atencional como origen de las diferencias individuales en la inteligencia y mediadoras de la relación CMT-If: la velocidad de procesamiento (PS) y la complejidad de la tarea. Respecto a la primera, algunos investigadores especulan que la relación PS-If refleja 'eficiencia neural', y la inteligencia es velocidad neural, de forma que las diferencias individuales en If reflejarían diferencias en velocidad mental. Sin embargo, los datos acerca de la velocidad neural como mecanismo causal de las diferencias en PS e inteligencia son difíciles de replicar [42] y a veces contrapuestos [43]. Respecto a la segunda alternativa, Heitz et al [41] señalan que las tareas simples de PS no cargan en el factor If [44], mientras que las tareas complejas de PS correlacionan de forma significativa con la If y la CMT, probablemente por el grado de control atencional que requieren [18,45-47].

Diversos investigadores argumentan que el vínculo entre MT y If puede encontrarse en los componentes ejecutivos de la MT. Los resultados obtenidos por Colom et al [48] tras valorar a 229 sujetos sanos indican que, contrariamente a la tesis defendida por Engle et al [25], la varianza común entre funcionamiento ejecutivo y MT no explica las relaciones entre inteligencia y MT. Los resultados derivados de este estudio plantean algunas cuestiones interesantes. Primero, obtienen correlaciones entre MT, funcionamiento ejecutivo e If relativamente bajas respecto a las referidas por estudios previos [16,25,49]. En segundo lugar, la correlación entre funcionamiento ejecutivo e inteligencia es más alta que entre inteligencia y MT. Este resultado es bastante consistente con los aportados por Miyake et al [49], pero no con los resultados comunicados por Engle et al [25]. Tercero, el nivel de complejidad de las medidas de inteligencia influye en su correlación con el funcionamiento ejecutivo, pero no con la MT: las medidas de inteligencia más complejas requieren mayor participación ejecutiva, pero no más MT. Finalmente, los resultados no son consistentes con el modelo teórico propuesto por Engle et al, ya que la correlación entre MT e inteligencia, sin tener

en cuenta el componente ejecutivo, es significativa. Parece, pues, que el funcionamiento ejecutivo no condiciona la relación entre MT e inteligencia: dado que las tareas de MT requieren el almacenamiento temporal de información relevante, resulta más parsimonioso plantear que la capacidad general de almacenaje es la base de las relaciones entre memoria e inteligencia [19,22,50].

Ackerman et al [51] hallan que la MT comparte menos del 25% de su varianza con la inteligencia general y con la habilidad de razonamiento. Asimismo, Ackerman et al argumentan que las medidas de CMT no tienen una validez discriminativa sustancial y que correlacionan alto con muchas habilidades diferentes. Oberauer et al [52] critican con rotundidad el estudio realizado por Ackerman et al, considerando que los datos aportados por estos autores son una subestimación fruto de defectos metodológicos. Oberauer et al efectúan un reanálisis de los datos de Ackerman et al, demostrando que el factor *g* y la CMT están estrechamente relacionados, y hallando que si bien no son idénticos, comparten el 72% de su varianza, lo que concuerda con estudios previos [23,53,54]. A nivel conceptual, consideran que la CMT podría ser el constructo explicativo de las habilidades intelectuales; no defienden que sean constructos isomórficos, pero sí que la MT constituye un predictor de la habilidad de razonamiento, *If* e inteligencia general. Oberauer et al observan que cuando se consideran los datos procedentes de estudios que utilizan el análisis factorial, la asociación es mucho más robusta, y que la MT refleja una validez discriminativa mayor de la que Ackerman et al admiten. Kane et al [55], pese a hallar resultados diferentes a los publicados por Ackerman et al, están de acuerdo con estos últimos en los siguientes puntos: la CMT no es equivalente al factor *g*, *If* o habilidad de razonamiento; la CMT es primariamente un constructo libre de dominio, y la CMT está más relacionada con la *If* y el razonamiento que la MCP.

Se ha argumentado que los constructos MT e *If* podrían compartir sustratos neurales. Diversos trabajos han hallado evidencias que apuntan a que las medidas de *If* activan áreas cerebrales implicadas en la ejecución de tareas de MT [56-58]. Gray et al [59] observan activaciones en el CPF lateral izquierdo y parietales bilaterales durante la ejecución de tareas de MT e *If* utilizando resonancia magnética funcional (RMf). Los hallazgos publicados por Colom et al [60] revelan un sustrato anatómico común para estos constructos, implicando regiones frontales situadas por debajo del área 10 de Brodmann (BA10) y, en menor grado, el lóbulo parietal inferior dere-

cho (BA40). Tales hallazgos son consistentes con las ideas sostenidas por Kane y Engle [39]. Estos autores, después de una exhaustiva revisión de 275 tomografías por emisión de positrones (PET) y RMf, sugieren que BA46, BA9 y BA10 pueden ser la base biológica de las relaciones entre la MT y el factor *g*. En esta misma línea, Cabeza y Nyberg [56] señalan que la activación de BA10 está presente tanto en tareas de resolución de problemas como en tareas de MT; asimismo, indican que las regiones dorsomediales (BA9 y BA46) están implicadas en procesos de monitorización y manipulación propios de la MT. Recientemente, Jung y Haier [61] han propuesto que la red parietofrontal es clave para la ejecución de test de inteligencia. Según estos autores, la capacidad de una persona para desarrollar comportamientos inteligentes depende directamente de los flujos de información que se establecen entre diversas regiones frontales y parietales.

Córtex prefrontal: ¿sustrato biológico de la inteligencia?

Desde principios del siglo XIX hasta el primer tercio del siglo XX, los lóbulos frontales son considerados el sustrato neurobiológico de las funciones intelectuales más complejas, y por extensión de la inteligencia. Sin embargo, a finales de los años treinta, Donald O. Hebb pondrá en duda esta relación. Posteriormente, otros autores también han mostrado que las lesiones frontales, particularmente del córtex prefrontal, tienen un efecto insignificante en los resultados obtenidos en pruebas estándares de inteligencia [62]. Estas observaciones indicarían que no existe una relación entre lóbulos frontales e inteligencia, o bien que las pruebas psicométricas de inteligencia no son capaces de detectar déficit asociados a lesiones de los lóbulos frontales. Teuber [63] señala que la bibliografía está salpicada de numerosos estudios que vinculan el lóbulo frontal con la inteligencia basándose únicamente en descripciones de casos o grupos seleccionados de forma intencional a fin de respaldar sus interpretaciones, y despreciando los que resultan contrarios a sus ideas. Dimond [64] sugiere que la inteligencia sólo estaría marginalmente vinculada al funcionamiento de los lóbulos frontales. Este autor considera que los lóbulos frontales son una extensión anterior del cerebro, y no una estructura central e integradora de los procesos mentales.

La preservación, tras lesiones prefrontales, de las capacidades cognitivas implicadas en la ejecución de pruebas de inteligencia contrasta con las dificul-

tades que muchos pacientes con este tipo de lesiones tienen para desarrollar una vida independiente, autónoma y socialmente adaptada. No faltan autores que señalan que esta aparente paradoja tiene su origen en el modo de entender el constructo inteligencia. Halstead [65], a mediados del siglo xx, considera que los lóbulos frontales están asociados con lo que él denomina inteligencia biológica (capacidad para adaptarse a las demandas cambiantes del entorno) y no con la inteligencia psicométrica, aquélla valorada mediante pruebas de inteligencia convencionales. Duncan et al [10] sugieren que la paradoja puede resolverse valorando con más detenimiento qué se entiende por factor g psicométrico y cómo éste es evaluado. Según estos autores, los test que miden la If (por ejemplo, matrices progresivas de Raven) serían más sensibles a lesiones prefrontales que test de inteligencia convencionales, como la escala de inteligencia para adultos de Wechsler. De tal manera, esta supuesta paradoja sería consecuencia directa de la falta de sensibilidad de las pruebas de inteligencia utilizadas en los estudios que han investigado la relación entre inteligencia y lóbulo frontal. Así, la escala de inteligencia para adultos de Wechsler tiene un importante componente de Ic, valorando en menor medida aspectos propios de la If, como la capacidad de formular y proponer fines y planes o de adaptación, aspectos que claramente se hallan afectados tras lesiones prefrontales.

La aparición de métodos de localización de lesiones *in vivo*, en especial la visualización por medio de técnicas de neuroimagen funcional, ha representado una gran oportunidad para progresar en el estudio de las relaciones entre el funcionamiento de distintas áreas cerebrales y los procesos cognitivos relacionados con el factor g [66]. Entre las primeras tentativas destacan los trabajos de Risberg et al [51,67,68] en los años setenta empleando el registro del flujo sanguíneo cerebral regional. Los resultados muestran que la ejecución del test de matrices progresivas de Raven ocasiona un aumento de flujo sanguíneo en el córtex frontal, parietal y occipital. Una década después, Berman et al [69] identifican un aumento del flujo sanguíneo cerebral en la región parietooccipital izquierda durante la ejecución de esta misma prueba psicométrica. A finales de los años noventa, Prabhakaran et al [70] examinan nuevamente la actividad cerebral asociada a la ejecución de las matrices progresivas de Raven, si bien en esta ocasión mediante RMf. Los resultados indican una mayor captación regional de glucosa en el córtex prefrontal dorsolateral, así como en las regiones cerebrales posteriores. Hallazgos similares son descritos por Esposito [71].

En el año 2000, Duncan et al [72] publican un artículo en el que defienden que la inteligencia no es una propiedad emergente del conjunto del cerebro, sino una función localizada en una zona bien delimitada: el córtex prefrontal lateral. Según estos autores, la inteligencia general deriva de un sistema frontal específico determinante para el control de diferentes formas de conducta. Tales hipótesis hunden sus raíces en estudios realizados por estos mismos autores en pacientes con lesiones cerebrales [10,73]. Tomando como punto de partida estos hallazgos, Duncan et al sugieren que los lóbulos frontales están implicados en la If y que ésta (referida al razonamiento y la habilidad para resolver situaciones novedosas) se encuentra más afectada tras lesiones frontales que no cuando las lesiones se producen en áreas cerebrales posteriores. Para probar tal hipótesis, Duncan et al [72] evalúan, mediante PET, la localización neuroanatómica de la inteligencia. Para ello utilizan una serie de problemas de asociación visual y verbal, cuya ejecución requiere supuestamente un factor g elevado. En los problemas de asociación visual, observan actividad en el córtex prefrontal lateral bilateral, y discretamente en la circunvolución frontal medial y en el cingulado anterior. Asimismo, observan activación en el córtex visual, que los autores atribuyen al análisis visual que estas tareas demandan. Respecto a las tareas verbales, la mayor activación tiene lugar en el córtex prefrontal lateral izquierdo. A la luz de los resultados, Duncan et al sugieren que el factor g refleja el funcionamiento de un sistema neuronal específico, en el cual el córtex prefrontal lateral ocupa un lugar destacado. Sternberg [74] critica el trabajo de Duncan et al, señalando que a partir de una relación de correlación no es posible concluir que el córtex prefrontal lateral es parte fundamental del sustrato biológico de la inteligencia. Si bien Sternberg admite que el córtex prefrontal es importante para muchos aspectos de la inteligencia, indica que el hecho de que una medida dependiente correlate con un evento biológico no significa que esta medida esté causada por tal evento, puesto que la existencia de una correlación no permite extraer conclusión alguna sobre la causa. Por otro lado, las características propias de la PET limitarían la validez de los resultados de Duncan et al. La principal limitación de esta técnica radica en la modesta correlación entre la activación cerebral y el estado cognitivo, debido a que estos estudios aportan datos sobre la activación cerebral en un estado de reposo y las pruebas neuropsicológicas realizadas en otro momento.

A partir de los estudios descritos, es indiscutible que el córtex prefrontal participa en ciertas fa-

cetas de lo que consideramos inteligencia. La aparente discrepancia entre los resultados obtenidos por Duncan et al [72] respecto a los descritos por Prabhakaran [70] o Esposito [71] dependerían directamente de la definición operacional del constructo inteligencia y, por ende, de los instrumentos empleados para valorarla (tareas que varían en su capacidad para predecir tal constructo). No obstante, asociar exclusivamente inteligencia con córtex prefrontal puede llevarnos a desarrollar una visión neolocalizacionista del funcionamiento cerebral, abordaje que no parece ser el más apropiado [75]. El funcionamiento cerebral combina el proceso jerárquico secuencial, desde las áreas primarias hasta las áreas secundarias y terciarias, con el proceso paralelo, en el que, simultáneamente, zonas jerárquicamente diversas de la convexidad cerebral trabajan en continua consulta con las estructuras mesiales y subcorticales. Es posible pensar que la inteligencia es el resultado del procesamiento cognitivo en dos dimensiones: una dimensión 'tangencial' (cortico-cortical) y otra 'perpendicular' (corticosubcortical), dimensiones en las cuales el córtex prefrontal es una región clave que actúa como área de integración de los procesos cognitivos que subyacen a la inteligencia.

Conclusiones

Esta revisión ha pretendido dar respuesta a una controvertida cuestión, alrededor de la cual se han generado acalorados debates, así como obtenido hallazgos no menos interesantes: ¿son lo mismo inteligencia y funciones ejecutivas? La diversidad de concepciones que existen de ambos constructos, así como la inexistencia de un instrumento que permita medirlos íntegramente, dificulta el poder responder con claridad a tal cuestión. Los estudios descritos a lo largo del artículo ofrecen diferentes respuestas, siendo la hipótesis que goza de mayor aceptación la que considera que inteligencia y funciones ejecutivas se superponen en algunos aspectos, pero no en otros. Diversos autores han hallado relaciones entre pruebas psicométricas que valoran inteligencia y el rendimiento en tests que evalúan funciones ejecutivas. Tales asociaciones apoyan la idea de que ambos constructos hacen referencia, al menos parcialmente, a la capacidad del individuo para adaptarse al entorno y superar situaciones específicas, lo que, en última instancia, le permite desenvolverse satisfactoriamente en su vida diaria. Sin embargo, los datos analizados también muestran que funciones ejecutivas e inteligencia no son tér-

minos intercambiables. Aunque las funciones ejecutivas intervienen activamente en todas aquellas conductas consideradas inteligentes, sería ingenuo pensar que una persona es más o menos inteligente dependiendo únicamente de aquellos aspectos ejecutivos puramente cognitivos, lo que algunos autores han denominado *cool executive functions*. Cualquier conducta inteligente nace de la identificación de un objetivo y la motivación para llevar a cabo esa conducta. Asimismo, el sujeto debe poseer un conocimiento del entorno que le permita seleccionar los medios más apropiados para la consecución del objetivo marcado.

Respecto a las bases neuroanatómicas de la inteligencia, la mayor parte de los abordajes empleados en su estudio han destacado por su naturaleza eminentemente localizacionista. Si bien esta metodología aporta información relevante sobre las bases neuroanatómicas de los procesos cognitivos necesarios para adaptarse satisfactoriamente a las demandas cambiantes del entorno, aquello que denominamos inteligencia no parece localizarse en una región concreta del cerebro, sino más bien depender de complejas redes neurales que interaccionan para aprender de la experiencia, resolver problemas y utilizar el conocimiento para adaptarse a nuevas situaciones.

Bibliografía

1. Thurstone LL. The nature of intelligence. New York: Harcourt Brace; 1924.
2. Crinella Y. Brain mechanisms and intelligence. *Psychometric and executive function*. *Intelligence* 1999; 27: 299-327.
3. Sastre-Riba S. Niños con altas capacidades y su funcionamiento cognitivo diferencial. *Rev Neurol* 2008; 46 (Supl 1): S11-6.
4. Lezak MD. The problem of assessing executive functions. *Int J Psychol* 1982; 17: 281-97.
5. Duncan J. Attention, intelligence, and the frontal lobes. In Gazzaniga MS, ed. *The cognitive neuroscience*. Cambridge: MIT Press; 1995. p. 721-33.
6. Tirapu-Ustároz J, Pérez-Sayes G, Erekatxo-Bilbao M, Pelegrín-Valero C. ¿Qué es la teoría de la mente? *Rev Neurol* 2007; 44: 479-89.
7. Detterman D. Does exists g? *Intelligence* 1982, 6: 66-108.
8. García-Molina A, Tirapu-Ustároz J, Roig-Rovira T. Validez ecológica en la exploración de las funciones ejecutivas. *Anales de Psicología* 2007; 23: 289-99.
9. Reitan RM, Wolfson D. A selective and critical review of neuropsychological deficits and the frontal lobes. *Neuropsychol Rev* 1994; 4: 161-98.
10. Duncan J, Burgess P, Emslie H. Fluid intelligence after frontal lobe lesions. *Neuropsychologia* 1995; 33: 261-8.
11. Cattell RB. Abilities: their structure, growth and action. Boston: Houghton-Mifflin; 1971.
12. Horn JL, Cattell RB. Refinement and test of the theory of fluid and crystallized general intelligences. *J Educ Psychol* 1966; 57: 253-70.
13. Obonsawin MC, Crawford JR, Page J, Chalmers P, Cochrane R, Low G. Performance on tests of frontal lobe function reflect general intellectual ability. *Neuropsychologia* 2002; 40: 970-7.

14. Zook NA, Dávalos DB, Delosh EL, Davis HP. Working memory, inhibition, and fluid intelligence as predictors of performance on Tower of Hanoi and London tasks. *Brain Cogn* 2004; 56: 286-92.
15. Friedman NP, Miyake A, Corley RP, Young SE, Defries JC, Hewitt JK. Not all executive functions are related to intelligence. *Psychol Sci* 2006; 17: 172-9.
16. Miyake A, Friedman NP, Emerson MJ, Witzki AH, Howerter A, Wager TD. The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex 'frontal Lobe' tasks: a latent variable analysis. *Cogn Psychol* 2000; 41: 49-100.
17. Wood RL, Liossi C. The relationship between general intellectual ability and performance on ecologically valid executive tests in a severe brain injury sample. *J Int Neuropsychol Soc* 2007; 13: 90-8.
18. Ackerman PL, Beier ME, Boyle MO. Individual differences in working memory within a nomological network of cognitive and perceptual speed abilities. *J Exp Psychol Gen* 2002; 131: 567-89.
19. Colom R, Abad FJ, Rebollo I, Shih P. Memory span and general intelligence: a latent-variable approach. *Intelligence* 2005; 33: 623-42.
20. Colom R, Flores-Mendoza C, Rebollo I. Working memory and intelligence. *Pers Individ Dif* 2003; 34: 33-9.
21. Colom R, Rebollo I, Palacios A, Juan-Espinosa M, Kyllonen PC. Working memory is (almost) perfectly predicted by g. *Intelligence* 2004; 32: 277-96.
22. Colom R, Shih P. Is working memory fractionated onto different components of intelligence? *Intelligence* 2004; 32: 431-44.
23. Kyllonen PC, Christal RE. Reasoning ability in (little more than) working-memory capacity? *Intelligence* 1990; 14: 389-433.
24. Ackerman PL. Determinants of individual differences during skill acquisition: cognitive abilities and information processing. *J Exp Psychol Gen* 1988; 3: 288-318.
25. Engle RW, Tuholski SW, Laughlin JE, Conway AR. Working memory, short-term memory, and general fluid intelligence: a latent-variable approach. *J Exp Psychol Gen* 1999; 128: 309-31.
26. Bachelder BL, Denny MR. A theory of intelligence: I. Span and the complexity of stimulus control. *Intelligence* 1977; 1: 127-50.
27. Bachelder BL, Denny MR. A theory of intelligence: II. The role of span in a variety of intellectual task. *Intelligence* 1977; 1: 237-56.
28. Cowan N. Evolving conceptions of memory storage, selective attention, and their mutual constraints within the human information-processing system. *Psychol Bull* 1988; 104: 163-91.
29. Cowan N. Attention and memory: an integrated framework. Oxford: Oxford University Press; 1995.
30. Crawford J, Stankov L. Fluid and crystallized intelligence and primacy/recency components of short-term memory. *Intelligence* 1983; 7: 227-52.
31. Stankov L. Attention and intelligence. *J Educ Psychol* 1983; 75: 471-90.
32. Engle RW. Working memory capacity as executive attention. *Cur Dir Psychol Sci* 2002; 11: 19-23.
33. Cattell RB. Theory of fluid and crystallized intelligence: a critical experiment. *J Psychol* 1963; 54: 1-22.
34. Horn JL. Concepts of intellect in relation to learning and adult development. *Intelligence* 1980; 4: 285-317.
35. Baddeley A, Hitch G. Working memory. New York: Academic Press; 1974.
36. Daneman M, Carpenter PA. Individual differences in working memory and reading. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior* 1980; 19: 450-66.
37. Daneman M, Carpenter PA. Individual differences in integrating information between and within sentences. *J Exp Psychol Learn Mem Cogn* 1983; 9: 561-84.
38. Daneman M, Tardif T. Working memory and reading skill re-examined. In Coltheart M, ed. *Attention and performance*. London: Erlbaum; 1987. p. 491-508.
39. Kane MJ, Engle RW. The role of prefrontal cortex in working memory capacity, executive attention, and general fluid intelligence: an individual-differences perspective. *Psychon Bull Rev* 2002; 9: 637-71.
40. Engle RW, Kane MJ, Tuholski SW. Individual differences in working memory capacity and what they tell us about controlled attention, general fluid intelligence and functions of the prefrontal cortex. In Miyake A, Shah P, eds. *Models of working memory: mechanisms of active maintenance and executive control*. New York: Cambridge University Press; 1999. p. 102-34.
41. Heitz RP, Unsworth N, Engle RW. Working memory capacity, attention control and fluid intelligence. In Engle RW, Wilhelm O, eds. *Handbook of understanding and measuring intelligence*. London: Sage; 2005. p. 61-77.
42. Wickett JC, Vernon PA. Peripheral nerve conduction velocity, reaction time, and intelligence: an attempt to replicate Vernon and Mori (1992). *Intelligence* 1994; 30: 537-54.
43. Stelmack RM, Knott V, Beauchamp CM. Intelligence and neural transmission time: a brain stem auditory evoked potential analysis. *Pers Individ Dif* 2003; 34: 97-107.
44. Conway AR, Cowan N, Bunting MF, Therriault DJ, Minkoff SRB. A latent variable analysis of working memory capacity, processing speed, and general fluid intelligence. *Intelligence* 2002; 30: 163-83.
45. Babcock RL. Analysis of adult age differences on the Raven's Advanced Progressive Matrices Test. *Psychol Aging* 1994; 9: 303-14.
46. Stankov L, Roberts RD. Mental speed is not the 'basic' process of intelligence. *Pers Individ Dif* 1997; 22: 69-84.
47. Wilhelm O, Schulze R. The relation of speeded and unspeeded reasoning with mental speed. *Intelligence* 2002; 30: 537-54.
48. Colom R, Rubio VJ, Shih PC, Santacreu J. Fluid intelligence, working memory and executive functioning. *Psicothema* 2006; 18: 816-21.
49. Miyake A, Friedman NP, Rettinger DA, Shah P, Hegarty M. How are visuospatial working memory, executive functioning, and spatial abilities related? A latent-variable analysis. *J Exp Psychol Gen* 2001; 130: 621-40.
50. Colom R, Rebollo I, Abad FJ, Shih PC. Complex span tasks, simple span tasks, and cognitive abilities: a reanalysis of key studies. *Mem Cognit* 2006; 34: 158-71.
51. Ackerman PL, Beier ME, Boyle MO. Working memory and intelligence: the same or different constructs? *Psychol Bull* 2005; 131: 30-60.
52. Oberauer K, Schulze R, Wilhelm O, Suss HM. Working memory and intelligence –their correlation and their relation: comment on Ackerman, Beier, and Boyle (2005). *Psychol Bull* 2005; 131: 61-5.
53. Kane MJ, Hambrick DZ, Tuholski SW, Wilhelm O, Payne TW, Engle RW. The generality of working memory capacity: a latent-variable approach to verbal and visuospatial memory span and reasoning. *J Exp Psychol Gen* 2004; 133: 189-217.
54. Stüf H, Oberauer K, Wittmann W, Wilhelm O, Schulze R. Working memory capacity explains reasoning ability –and a little bit more. *Intelligence* 2002; 34: 97-107.
55. Kane MJ, Hambrick DZ, Conway AR. Working memory capacity and fluid intelligence are strongly related constructs: comment on Ackerman, Beier, and Boyle (2005). *Psychol Bull* 2005; 131: 66-71.
56. Cabeza R, Nyberg L. Imaging cognition II: an empirical review of 275 PET and fMRI studies. *J Cogn Neurosci* 2000; 12: 1-47.
57. Ruff CC, Knauff M, Fangmeier T, Spreer J. Reasoning and working memory: common and distinct neuronal processes. *Neuropsychologia* 2003; 41: 1241-53.
58. Smith EE, Jonides J. Storage and executive processes in the frontal lobes. *Science* 1999; 283: 1657-61.
59. Gray JR, Chabris CF, Braver TS. Neural mechanisms of general fluid intelligence. *Nat Neurosci* 2003; 6: 316-22.
60. Colom R, Jung RE, Haier RJ. General intelligence and memory span: evidence for a common neuroanatomic framework. *Cogn Neuropsychol* 2007; 24: 867-78.
61. Jung RE, Haier RJ. The parieto-frontal integration theory (P-FIT) of intelligence: converging neuroimaging evidence. *Behav Brain Sci* 2007; 30: 135-54.

62. Brazzelli M, Colombo N, Della Sala S, Spinnler H. Spared and impaired cognitive abilities after bilateral frontal damage. *Cortex* 1994; 30: 27-51.
63. Teuber HL. Unity and diversity of frontal lobe functions. *Acta Neurobiol Exp (Wars)* 1972; 32: 615-56.
64. Peña-Casanova J, Farré Pons J. Lóbulos frontales. Síndrome frontal. In Peña-Casanova J, Barraquer-Bordas L, eds. *Neuropsicología*. Barcelona: Toray; 1983. p. 364-96.
65. Halstead WC. Brain and intelligence. In Jeffries LA, ed. *Cerebral mechanisms in behavior*. New York: Wiley; 1951. p. 244-72.
66. Gray JR, Thompson PM. Neurobiology of intelligence: science and ethics. *Nat Rev Neurosci* 2004; 5: 471-82.
67. Risberg J, Ingvar DH. Patterns of activation in the grey matter of the dominant hemisphere during memorizing and reasoning. A study of regional cerebral blood flow changes during psychological testing in a group of neurologically normal patients. *Brain* 1973; 96: 737-56.
68. Risberg J, Maximilian AV, Prohovnik I. Changes of cortical activity patterns during habituation to a reasoning test. A study with the ^{133}Xe inhalation technique for measurement of regional cerebral blood flow. *Neuropsychologia* 1977; 15: 793-8.
69. Berman KF, Illowsky BP, Weinberger DR. Physiological dysfunction of dorsolateral prefrontal cortex in schizophrenia. IV. Further evidence for regional and behavioral specificity. *Arch Gen Psychiatry* 1988; 45: 616-22.
70. Prabhakaran V, Smith JA, Desmond JE, Glover GH, Gabrieli JD. Neural substrates of fluid reasoning: an fMRI study of neocortical activation during performance of the Raven's Progressive Matrices Test. *Cognit Psychol* 1997; 33: 43-63.
71. Esposito G, Kirkby BS, Van Horn JD, Ellmore TM, Berman KF. Context-dependent, neural system-specific neurophysiological concomitants of ageing: mapping PET correlates during cognitive activation. *Brain* 1999; 122: 963-79.
72. Duncan J, Seitz RJ, Kolodny J, Bor D, Herzog H, Ahmed A, et al. A neural basis for general intelligence. *Science* 2000; 289: 457-60.
73. Duncan J, Emslie H, Williams P, Johnson R, Freer C. Intelligence and the frontal lobe: the organization of goal-directed behavior. *Cognit Psychol* 1996; 30: 257-303.
74. Sternberg RJ. Cognition. The holy grail of general intelligence. *Science* 2000; 289: 399-401.
75. García-Molina A, Enseñat-Cantallops A, Tirapu-Ustároz J, Roig-Rovira T. Maduración de la corteza prefrontal y desarrollo de las funciones ejecutivas durante los primeros cinco años de vida. *Rev Neurol* 2009; 48: 435-40.

Are intelligence and executive functions the same thing?

Introduction. With the growth of cognitive science, the study of the cognitive components involved in solving tests to assess intelligence become especially significant. From this perspective, the *g* factor is conceived as the representative of the operation of high-level cognitive processes that control the computational programmes of the brain. Different names have been used to denominate the cognitive processes that underlie the *g* factor: control processes, executive functioning, executive control or executive functions.

Development. We review the relationship between intelligence, on the one hand, and working memory and the executive functions construct, on the other. Furthermore, the article also reviews the relationship between intelligence and the prefrontal cortex, as its possible neuroanatomical substrate.

Conclusions. The studies that were surveyed offer different answers to the question of whether intelligence and the executive functions are one and the same thing, the most widely accepted hypothesis being the one that sees intelligence and the executive functions as overlapping in some aspects but not in others.

Key words. Cognition. Executive functions. Intelligence. Neuropsychology. Prefrontal cortex. Working memory.