

## Actualización en Tests Neuropsicológicos de Funciones Ejecutivas

Marino D., Julián C.<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Facultad de Psicología, Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, Argentina

### Artículo de Revisión

#### Resumen

En esta revisión se presentan diferentes problemas relacionados a la evaluación de las Funciones Ejecutivas (FE) mediante tests neurocognitivos. Ante el problema de su definición, se presenta una estructura de cuatro elementos constitutivos. Se repasan los modelos teóricos de FE de acuerdo a diferentes clasificaciones propuestas e intentos de integración de listados inductivos de funciones. En relación a la historia de los tests de FE, se destaca su surgimiento en contextos ajenos a la neuropsicología, lo que permite formular hipótesis sobre las consecuencias que esto tiene en la evaluación actual. Finalmente, se propone una clasificación de tests que miden FE y se analiza la idea de una nueva generación de instrumentos, apoyada por avances tecnológicos y teóricos, así como por el desarrollo de ontologías, inferencias inversas y análisis de validez ecológica y etológica.

#### Palabras claves:

Funciones Ejecutivas- Evaluación neuropsicológica- Test Neurocognitivos- Validez Ecológica- Validez Etológica

Recibido el 22 de Noviembre de 2009; Recibido la revisión el 12 de Diciembre de 2009; Aceptado el 7 de Enero de 2010

#### Abstract

**Update on Executive Function Neuropsychological Tests.** This review presents different problems related to executive functions (EF) assessment with neuropsychological tests. It shows an overview of EF definitions and theoretical models created to overcome the problem of inductive lists. Also EF tests history and their emerging contexts are reviewed, to hypothesize about its consequences over actual conditions of EF assessment practice. Later, an EF tests classification is proposed, taking into account criterias like tests origins, constructs relates and systemic or simple forms of application. Finally the idea of a new generation of tests supported by theoretical and technological advances was analyzed. This includes the development of EF scientific ontologies, reverse inferences analysis and ecological and etological validity studies.

#### Key Words:

Executive functions - neuropsychological assessment - neurocognitive tests - ecological validity - etological validity

### 1. Introducción

Funciones Ejecutivas (FE) es un concepto que tiene una complejidad particular dentro de la literatura neuropsicológica, ya que implica el estudio de fenómenos cercanos a la psicología funcionalista, como la organización del comportamiento dirigido a metas, la orientación de la conducta hacia el futuro y la selección de pensamientos y acciones para una mejor adaptación al ambiente (James, 1890). Se lo considera un concepto “paraguas” (Huizinga, Dolan & Van Der Molen, 2006) porque incluye un listado de funciones sumamente amplio y con muchas diferencias entre autores.

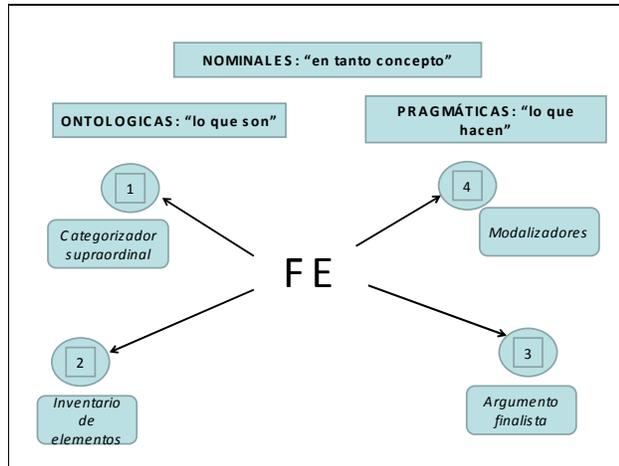
Las definiciones de FE también son muy variadas y pocas veces se encuentran coincidencias entre ellas. No obstante, hay criterios supraordinales que permiten proponer la siguiente estructura (ver Figura 1): a) término ontológico, que califica a las FE mediante un

categorizador supraordinal, como proceso, conjunto, serie, organización 2) inventario de elementos o constitutivos que forman parte de las FE, teniendo estrecha relación con el término ontológico anterior, ya que si FE es definida como conjunto, luego aparece el listado de funciones que lo integran, por ejemplo memoria de trabajo, planificación, toma de decisiones, control inhibitorio y 3) argumento finalista, que describe para qué sirven las FE, cuál es su objetivo y su contribución al procesamiento de la información; ejemplos típicos son: “para lograr la adaptación al medio ambiente”, “para lograr que la conducta se dirija hacia metas”, “para permitir la selección de acciones y pensamientos” (Sylvester et al. 2003).

Generalmente el término ontológico, el inventario de elementos y el argumento finalista van acompañados

\* Enviar correspondencia a: Dr. Julián C. Marino D.  
E-mail: jmarino@psych.unc.edu.ar

de una serie de modalizadores que indican como se relacionan con otras capacidades cognitivas, qué regiones neuroanatómicas implican y qué consecuencias tiene su estudio en contextos pragmáticos como el trabajo clínico y la investigación. Las definiciones a la vez tienen rasgos ontológicos (lo que las FE son), pragmáticos (lo que las FE hacen) y nominales (aludiendo de qué tipo de constructo se trata).



**Figura 1.** Elementos que componen una definición de Funciones Ejecutivas.

Teniendo en cuenta lo antedicho, a continuación se propone una definición que incluye tanto estos tres últimos rasgos como los elementos anteriormente señalados como propios de la estructura: FE es un concepto que describe un conjunto de funciones susceptibles de ser clasificadas de acuerdo a criterios conductuales, cognitivos y neuroanatómicos, tales como planificación, monitoreo y memoria de trabajo, cuya finalidad es permitir la adaptación de una persona a su medio ambiente y ajustar su comportamiento en torno a objetivos, seleccionando acciones y pensamientos que trascienden e integran temporalmente la información. A la vez, las FE mantienen una relación jerárquica con capacidades cognitivas como atención y memoria, ejerciendo un control de su funcionamiento para adecuarlo a las metas conductuales de las personas. Lezak (1983) fue la primera en sistematizar el concepto de FE (Tirapu- Ustarroz, Muñoz-Céspedes & Pelegrín Valero, 2002) diferenciándolo de las capacidades cognitivas básicas como la memoria, la atención y el lenguaje. Para Lezak (1995) las FE se preguntan por el cómo de una conducta, a diferencia de las capacidades básicas que se preguntan por el qué. Se trata de un proceso que comienza con la identificación de sus

necesidades por parte de una persona, le sigue la planificación de la conducta para satisfacerlas y luego la ejecución de la misma, mediante la regulación del lenguaje. Finalmente, hay un miramiento por la efectividad de la performance.

En esta conceptualización, Lezak reconoció influencias del neuropsicólogo ruso Alexander Luria, quien formuló el concepto de unidad funcional de programación, regulación y verificación de la conducta, asociada a la actividad de los lóbulos frontales (Luria, 1984). Otro antecedente importante, desde una perspectiva cognitiva, fueron los trabajos de Baddeley y Shallice (De Vega, 1998), quienes sistematizaron los conceptos de sistema central ejecutivo y Sistema Atencional Supervisor (SAS), en investigaciones centradas en memoria y atención.

La mayor complejidad de FE se encuentra en su carácter supraordinal respecto de las capacidades básicas. Esto se apoya en observaciones neuroanatómicas sobre la organización jerárquica de la corteza humana, donde existe una zona de integración localizada en las zonas prefrontales, que recibe aferencias multimodales del resto del sistema nervioso y envía información de control sobre la corteza posterior y la subcorteza (Fuster, 2001). Esto ha motivado que se identifique FE con actividad prefrontal, pero estudios con neuroimágenes y hallazgos clínicos indican que es una inferencia incorrecta (Fassbender et al. 2004), ya que se han encontrado activaciones parietales, temporales y subcorticales durante la realización de pruebas que demandan actividad ejecutiva (Collette, Hogge, Salmon & Van Der Linden, 2006)..

La actividad ejecutiva se considera también como una conducta temporalmente trascendente, al integrar paquetes de información almacenados a largo plazo (pasado) con información entrante del contexto de operación (presente) y con los objetivos que dirigen la persona hacia el futuro. Para Fuster (2001), el tiempo es la esencia del funcionamiento ejecutivo.

Desde una perspectiva crítica a los desarrollos citados, Sugarman (2002) considera que FE es un concepto sumamente difícil de evaluar y conceptualizar por cuanto implica una cibernética de segundo orden, donde el agente de la acción está involucrado en la misma, modificándose a medida que cambia su curso. Para este autor las FE son un proceso de organización de la actividad cognitiva, con una secuencia y duración temporal imposible de aprehender mediante los tests de uso corriente.

De acuerdo a lo anterior, establece que hablar de FE equivale a situarse en un proceso homeostático

irrepetible, donde un simulador interno que establece relaciones entre los eventos a través del tiempo actúa a la vez sobre sí mismo, insertándose en procesos que sólo pueden ser descritos mediante conceptos como los de lógicas complejas, darwinismo ideacional y autopoiesis. El autor, finalmente, aboga por un tipo de evaluación dinámica de FE, que supere la reducción a distribuciones estadísticas como las que brindan los tests psicométricos. Sin embargo, no resulta claro como sería ese tipo de evaluación y las coordenadas teóricas que se brindan tampoco resultan muy ilustrativas al respecto.

En conclusión, FE es un concepto neuropsicológico que incluye aspectos del comportamiento humano como el planteo de objetivos, la toma de decisiones y la selección de pensamientos y acciones que están cerca del vocabulario psicológico clásico y más aún de la psicología funcionalista. La búsqueda de una determinación específica de los fenómenos que implica ha derivado en una larga lista de funciones, resultando imprecisos los límites de su concepto. Por esto, la complejidad de la idea de FE, más su permeabilidad semántica, son puntos de partida para analizar las dificultades en seleccionar y crear instrumentos confiables de evaluación.

## 2. Listado de Funciones

Pese a que en la literatura sobre FE se encuentran modelos teóricos que proponen una visión integral del funcionamiento ejecutivo y trabajos que intentan reducir la cantidad de funciones mediante procedimiento estadísticos como análisis factorial o análisis de variable latente (Hull, Martin, Beier, Lane & Hamilton, 2008; Miyake, Friedman, Emerson, Witzki, Howerter & Wager, 2000; Pineda, Merchán, Rosselli & Ardila, 2000), la distribución funcional predomina en la literatura de FE, y escapa a los intentos de integración conceptual. Las enumeraciones funcionales que están presentes en varias definiciones de FE suelen carecer de un reconocimiento jerárquico que permita traducir sus inclusiones en modelos concretos de flujo de información, apareciendo como listados inductivos de funciones que pueden superponerse tanto en sus aspectos cognitivos, conductuales y neuroanatómicos. En la Tabla 1 se ilustra este aspecto inductivo de la presentación de funciones.

Hay intentos de clasificación de las funciones, siguiendo diversos criterios. Uno de ellos consiste en agruparlas en funciones cálidas (hot) y frías (cold) (Chan, Shum, Touloupoulou & Chen, 2007) de acuerdo a la implicancia o no del procesamiento emocional. Las funciones frías serían aquellas más relacionadas con la

actividad dorsolateral prefrontal, permitiendo un tratamiento más racional de la información, mientras que las funciones cálidas serían las implicadas en el tratamiento de la información emocional que proviene de la subcorteza, y que tiene su principal representación frontal en la zona orbital ventral. Dentro de las funciones cálidas se encontraría el sistema ejecutivo social, que incluye el control de impulsos, la interpretación de señales corporales, la toma de decisiones y el reconocimiento de la perspectiva del otro. En las funciones frías, en cambio, ingresarían las relacionadas con el razonamiento y el procesamiento de información abstracta, como por ejemplo la memoria de trabajo, conceptualización y categorización, entre otras.

### Tabla 1.

Listado de funciones propuestas dentro del concepto Funciones Ejecutivas, clasificadas en frías, calientes y relacionadas con la finalidad conductual.

---

#### Funciones frías:

Monitoreo  
Inhibición  
Secuenciación  
Updating  
Planificación  
Flexibilidad Cognitiva  
Memoria de trabajo  
Control atencional  
Feedback  
Razonamiento  
Categorización  
Iniciación  
Formación de conceptos

---

#### Funciones cálidas:

Toma de decisiones  
Control de impulsos  
Feedback emocional  
Volición  
Estrategias de cooperación  
Empatía  
Teoría de la mente  
Administración de refuerzos

---

#### Conceptos que describen la finalidad conductual:

Autosatisfacción  
Adaptación  
Metas  
Autoservicio  
Conducta independiente

---

Por su parte Huettel, Misiurek, Jurkowsky & Mc Carthy (2004) clasifican las funciones en estratégicas y dinámicas, siendo las estratégicas aquellas que están dirigidas hacia una meta, y las dinámicas las referidas al control activo y transitorio de una actividad en desarrollo, cambiante de acuerdo a entradas de información sensorial externa. Las funciones dinámicas garantizan la flexibilidad del comportamiento, momento

a momento durante la actividad en ejecución, mientras que las estratégicas están relacionadas con la iniciación de un tipo de respuesta y la consecución de una meta, definiendo globalmente una estrategia en un set conductual.

Como se puede apreciar, estos criterios están directamente relacionados con la clasificación de las funciones de acuerdo a bases neuroanatómicas. Al respecto, Slachevsky et al. (2005) han distinguido cuatro tipos de funciones: las dorsolaterales prefrontales, implicadas en la jerarquía superior del procesamiento de la información (memoria de trabajo, updating o actualización, secuenciación); las orbitofrontales, relacionadas con el procesamiento ejecutivo de la personalidad y las emociones; las ventromediales, relacionadas con la motivación, el monitoreo, el control inhibitorio y la detección de errores y las frontopolares, relacionadas con el control jerárquico y prospectivo de la conducta.

Este criterio de clasificación tiene cierta claridad pedagógica, sin embargo, investigaciones clínicas han demostrado que los límites no son tan precisos y que pacientes con daños en una de las cuatro regiones pueden presentar fenómenos correspondientes a otra (Ardila & Rosselli, 2007). Además, corre riesgos de caer en una nueva frenología, incurriendo en el error señalado por William James (1890) de considerar una función como el “alma” de una región cerebral. Para este autor es necesario indagar los fenómenos que acompañan una función junto a las condiciones que determinan su actividad en relación a otras. Esto implica trabajar con la noción de modelos de FE.

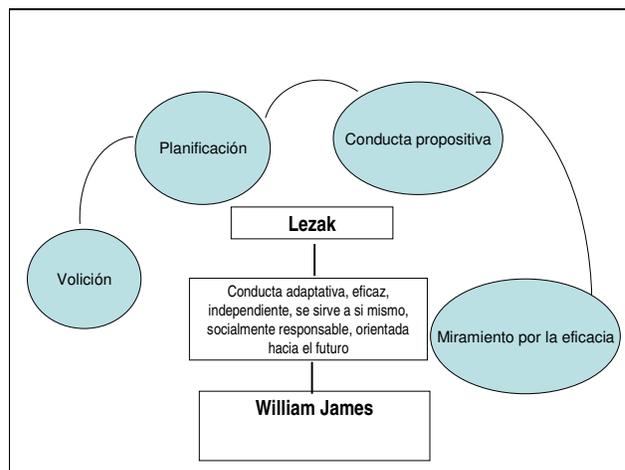
### 3. Modelos Teóricos Ejecutivos y Tests Neuropsicológicos

Diversos autores han presentado una revisión de los modelos teóricos en FE. Reyes Sánchez & Slachevsky (2008) los clasifican de acuerdo a la función o capacidad cognitiva que es destacada como central para el funcionamiento ejecutivo. De este modo, los autores discriminan distintos modelos como aquellos cuyo componente principal es la memoria de trabajo, la atención y el control temporal y jerárquico. Chan et al. (2008) considera que existen básicamente seis modelos dentro de la literatura de FE: el modelo de las unidades funcionales de Luria, el SAS de Shallice y Norman, el tripartito de Stuss y Benson, el de organización de metas de Duncan, el centrado en los circuitos dopaminérgicos de memoria de trabajo de Goldman-Rakic y el modelo del marcador somático de Damasio (Bechara, Damasio, H, Damasio, A & Anderson, 1994).

Tanto los modelos que describen Reyes Sánchez &

Slachevsky (2008) como los de Chan et al. 2008 pertenecen a épocas muy diferentes entre sí: hay más de cuarenta años de diferencia entre los pioneros trabajos de Luria y los desarrollos recientes de Koechlin & Summerfield (2007). Entonces, asumiendo una perspectiva histórica, es posible distinguir entre modelos de FE clásicos y derivados.

Como primer modelo clásico se encuentra el de Alexander Luria, quien identificó el lóbulo frontal con la capacidad de orientarse hacia los datos, definir estrategias para seleccionar operaciones y verificar el éxito de las repuestas dadas. Postuló que en el sistema nervioso hay tres unidades funcionales, siendo la tercera la encargada de programar el comportamiento mediante el establecimiento de metas, la regulación del lenguaje y la verificación de las consecuencias de las acciones realizadas. Luria mencionó el término ejecutivo en un artículo publicado en 1968 (Karpov, Luria & Yarbuss, 1968), como etapa final del procesamiento de datos. Sin embargo, quien sistematizó por primera vez el concepto de FE fue Lezak, mediante un modelo de logro de la conducta autosatisfactoria, independiente y socialmente responsable (Lezak, 1995) (ver Figura 2).



**Figura 2.** Principales conceptos del modelo de FE de M. Lezak (1995), destacando su filiación teórica con la psicología funcionalista de James

Otros modelos clásicos corresponden al sistema central ejecutivo de Baddeley, en tanto unidad central encargada de coordinar la información proveniente de sistemas esclavos, y el mencionado SAS de Shallice y Norman, como unidad de control y activación supraordinal ante situaciones novedosas y de peligro. El SAS funcionaría de un modo dicotómico con el dirimiente de conflictos (scheduling contention), que efectuaría elecciones simples (sí o no) en una especie de rutina de acción cognitiva. La activación del SAS, en cambio, estaría relacionada con demandas

extraordinarias y sería un sistema de control general.

Goldman- Rakic (1997) consideró que la tarea de control le corresponde a las múltiples divisiones de la memoria de trabajo. Para esta autora los diversos subsistemas son localizables hasta un nivel neuronal, están mediatizados por el sistema dopaminérgico y sus redes se proyectan jerárquicamente sobre las parietales y temporales. Fuster (1997) denominó a estos sistemas memorias ejecutivas, cuya acción controla las memorias perceptuales, que son filogenética y ontogenéticamente más antiguas. Para este autor, todas las funciones son memorias distribuidas, superponiéndose las ejecutivas de forma progresiva sobre las perceptuales. La organización conductual se logra entonces por la integración temporal de la conducta, el control inhibitorio y la permanencia de las representaciones internas.

Los modelos mencionados (Luria, Lezak, Shallice, Baddeley, Fuster y Goldman- Rakic) podrían ser considerados “clásicos” de las FE, manteniendo su influencia sobre desarrollos posteriores. Entre los más novedosos, se destaca el modelo ejecutivo de procesamiento de la información (Koechlin & Summerfield, 2007), que postula la existencia de un eje rostrocaudal de jerarquía de control de la conducta. El procesamiento ejecutivo de la información pasaría de una organización sensoriomotriz, donde la información del estímulo desborda la acción dirigiendo automáticamente la respuesta, hasta el control estratificado, donde coexisten varias señales en suspenso que la persona episódicamente mantiene para dirigir su conducta de acuerdo a una jerarquía de metas. Entre estos dos extremos se encuentran el control contextual y el control episódico, avanzando la localización de cada uno desde una zona más posterior a otra anterior del eje mencionado. Un aspecto destacado de este modelo es que permite un trasvasamiento del vocabulario funcional al lenguaje del procesamiento de la información.

Por su parte, Miyake et al. (2000), si bien no proponen un modelo en sí mismo, presentan las FE como operaciones básicas relativamente simples que se combinan para formar FE más complejas. Para estos autores, las FE son en parte independientes y en parte interdependientes, siendo las operaciones más básicas el cambio (shifting), el control inhibitorio y la actualización (updating) en la memoria de trabajo. También postulan en este nivel a las operaciones multitareas (multitasking) que consisten en colocar varias metas en la memoria prospectiva de manera que la persona tiene que distribuir los recursos de su actividad actual en función de las mismas. En las

actividades multitareas la actividad que la persona está llevando a cabo implica una disminución en el tiempo para hacer otras tareas, que también se encuentran en espera, por lo que debe hacer un cálculo prospectivo siempre en dirección a una meta.

La consecuencia teórica del trabajo de Miyake et al (2000) es reducir la pluralidad semántica mediante constructos más básicos que expliquen la varianza de los datos de los instrumentos diseñados para evaluar FE. Esta operación es valiosa por la simplificación en sí misma, pero las operaciones básicas que formarían las FE más complejas son postuladas por estos autores de forma apriorística.

Los tests más populares de FE fueron creados en contextos ajenos a la neuropsicología. Por ejemplo, las pruebas de fluidez verbal fueron diseñadas por Thurstone en 1920 (Ruff, Light, Parker & Levin, 1997); el Porteus Maze Test (PMT) fue construido en 1928 para medir la edad mental (Marino, Fernández & Alderete, 2001); el Wisconsin Card Sorting Test (WCST) (Berg, 1948) fue parte de una tesis de maestría presentada en 1948 como una prueba de razonamiento abstracto, formación de conceptos y creación de estrategias de respuesta ante cambios ambientales contingentes; el Trail Making Test (TMT) fue adaptado por la armada de Estados Unidos para seleccionar soldados durante la segunda guerra mundial (Lezak, 1995).

Su incorporación a la neuropsicología aconteció varios años después, con la necesidad contar con herramientas que brinden datos conductuales para relacionar con la actividad nerviosa. En la incipiente neuropsicología norteamericana, se utilizaron en principio tests para evaluar conceptos tan globales como “daño cerebral” y “organicidad”, orientándose preferentemente hacia el uso clínico, bajo la concepción predominante de que la neuropsicología era una herramienta auxiliar del médico neurólogo (Luria, 1984). A su vez, Luria, en la ex-Unión Soviética, diseñó numerosas pruebas, articulándolas con la actividad de sus unidades funcionales, sin el énfasis característico de la escuela anglosajona por el control psicométrico.

De esta manera, tests clásicos como el WCST fueron permanentemente reinterpretados por los modelos teóricos de FE (Nyhus & Barceló, 2009), llegando a desarrollarse incluso programas de redes neuronales artificiales para simular su ejecución (Kaplan, Şengör, Gürvit, Genç & Güzeliş, 2006). Estos casos se pueden considerar los más frecuentes, donde tests o tareas que fueron diseñados para otros fines son reutilizados por modelos neuropsicológicos de FE. Como se verá más adelante, esto puede tener relación

con la carencia de adecuados desarrollos en una ontología científica de FE. Por esto, la propuesta de Chan et al. (2008) de vincular modelos teóricos con tests debe examinarse con cautela, ya que no todos los modelos son creadores directos de tests ni siempre demuestran con claridad operacionalizar sus conceptos.

Ejemplos del surgimiento de tests a partir de modelos teóricos neuropsicológicos son el Iowa Gambling Task (IGT) (Bechara, Damasio, H, Damasio, A & Anderson, 1994), desprendido de la hipótesis del marcador somático de Damasio, el Brixton Test, el Hayling Test y el Six Elements Test, desprendidos del modelo del SAS (Shallice & Burgess, 1991) y la batería conocida como ROBBIA (Rotman- Baycrest Battery to Investigate Attention) (Stuss, Shallice, Alexander & Picton, 1995), del modelo tripartito de Stuss y Benson. El modelo de Goldman- Rakic, centrado en la memoria de trabajo, inspiró algunas pruebas, como el CANTAB (Cambridge Neuropsychological Automated Battery) (Strauss, Sherman y Spreen, 2006), muy útil para evaluar sus constructos.

Los progresivos desarrollos en procesamiento de la información, dominantes en la psicología cognitiva, más el creciente interés por incluir la neuropsicología en el marco general de las neurociencias, motivaron la búsqueda de tests específicos y útiles para aportar datos sobre la dinámica cerebral. Esta mayor especificidad hizo que, dentro de las neurociencias cognitivas sean considerados como muestras altamente estructuradas de conducta, susceptibles de generar comparaciones para potenciar los datos. Esta concepción abrió el camino para la inclusión de tareas y diseños conductuales propias del contexto experimental con una sólida interpretación teórica de respaldo.

#### 4. Clasificación de los Tests de FE

La siguiente es una propuesta para clasificar la gran cantidad de tests que evalúan FE. Un listado no exhaustivo de los mismos puede verse en la Tabla 2.

Para clasificar los tests de FE se pueden utilizar diferentes criterios. Hay algunos que pueden trazar líneas demarcatorias sumamente claras, como tener en cuenta su origen o si se trata de baterías ejecutivas o tests individuales. También hay criterios más complejos, como tener en cuenta las funciones que dicen estar midiendo o establecer dimensiones básicas que permitan situar a cada test como coordenadas en un espacio multidimensional. Estas dimensiones básicas corresponderían a exigencias de velocidad de procesamiento de la información, carga en memoria de trabajo, activación de modalidades sensoriales específicas, cómputos y transformaciones necesarias, y

otras que puedan constituir un campo exhaustivo donde se posiciona cada test.

#### Tabla 2

Ejemplos de tests de FE de acuerdo a la clasificación propuesta.

<b>Tests Clásicos:</b>
Stroop tests
Fluidez Verbal (fonológica, categorial, gramatical, combinadas)
Wisconsin Card Sorting Test
Halstead Category Test
Porteus Maze Test
Trail Making Test
Towers Tests
<b>Tareas en contextos experimentales:</b>
Digit odd
Keep tracking
Tone monitoring task
Letter memory
Plus minus task
HTD Zanolie Test
Wason Selection Task
<b>Paradigmas:</b>
Dual tasks
Go no go
N back tasks
Question tasks
Resolución de problemas
Antisaccade tasks
Dual tasks
Flanker tasks
Estimación cognitiva
Random generation tasks
<b>Tests surgidos de modelos teóricos de FE:</b>
Brixton test
Hayling test
BADS
Roytman Baycrest battery
CANTAB
Kasanin- Haufmann CFT
Iowa Gambling Task
D- KEFS

De acuerdo a su origen, se pueden mencionar tres tipos de pruebas relacionadas con las FE:

a. Tests clásicos, provenientes de contextos ajenos a la neuropsicología. Han sido elaborados desde principios del siglo veinte hasta aproximadamente 1980. Son los más difundidos en la clínica neuropsicológica y tienen una gran dispersión en cuanto a los procesos y funciones que activan. Ejemplo: WCST

b. Tareas provenientes de contextos experimentales: son diseñadas ad hoc para una investigación particular. Muchas veces son adaptaciones de pruebas clásicas o de modelos teóricos a contextos con restricciones particulares, como el resonador magnético. Suponen un elevado conocimiento teórico, ya que el investigador determina que dadas las operaciones que exige la tarea se está midiendo el concepto de interés. En sus etapas iniciales

no tienen los estudios para habilitarlos al uso clínico. Se los emplea como muestras de conducta que pueden interpretar neuropsicólogos altamente calificados. Ejemplo: tarea de las puertas diseñada por Zanolie, Van Leijenhorst, Rombouts & Crone (2008) para evaluar flexibilidad cognitiva

c. Paradigmas: están estrechamente relacionados con las tareas, pero son más amplios e incluyen variaciones dentro de los mismos. Un ejemplo típico son los paradigmas go/ no go (Simmonds, Pekar & Mostofsky, 2008), que consisten en hacer aprender una respuesta prepotente a partir de un estímulo para luego inhibir esa respuesta ante una variación del estímulo o presentación de una clave inhibitoria. En numerosas investigaciones se han presentado distintas versiones de los paradigmas go no-go.

d. Tests surgidos en el interior de un modelo teórico. Son diseñados para operacionalizar un proceso o constructo y se diferencian de los creados para tareas experimentales porque sus autores realizan los mismos estudios de validez y confiabilidad que tienen los tests clásicos. Tienen un origen reciente, ubicándose aproximadamente desde 1980 hasta la actualidad. Se utilizan tanto en clínica como en investigación y la gran diferencia con los tests clásicos reside en que sus creadores los describen conceptualmente utilizando modelos neurocognitivos desde su origen. Por ejemplo, el Hotel Test (modelo del SAS) (Manly, Hawkins, Evans, Woldt & Robertson, 2002).

De acuerdo a su condición de elemento o conjunto, se pueden distinguir dos tipos de tests:

a. De aplicación conjunta, que supone un sistema de tests coordinados tanto en su interpretación teórica como en su aplicación práctica, constituyendo una batería centrada en el funcionamiento ejecutivo, como el Delis Kaplan Executive Function System (Strauss, Sherman & Spreen, 2006)

b. Individuales: Los de este tipo constituyen un conjunto en si mismos. Por ejemplo, la Torre de Londres (Shallice, 1982).

Las aplicaciones conjuntas remiten al carácter multivariado de las FE. El síndrome disejecutivo, por ejemplo, presenta tal variedad de signos y tal dispersión en los patrones de rendimientos en los tests, que resulta estratégico tomar sistemáticamente varias pruebas ejecutivas y obtener perfiles. Como se señaló anteriormente, es poco frecuente que se aplique un solo test de FE en una valoración, pero se reserva la descripción de aplicación conjunta para sistemas estandarizados de aplicación de tests ejecutivos, cuya información final tiene un carácter correlacional.

Los criterios de clasificación más complejos

implican la relación que tiene un test con conceptos que describen la actividad nerviosa y la cognición. Más allá de que un test se considere globalmente como del campo de las FE, todos concretamente se relacionan con uno o más elementos del listado funcional. Ahora, si se tiene en cuenta que el listado debe aumentar su rigor teórico y que la historia de desarrollos de modelos teóricos y tests sigue vías paralelas, se comprende que exista un amplio campo de investigación destinado a indagar las propiedades conceptuales de los tests ejecutivos.

En esta dirección, hay numerosos estudios sobre validez de constructo. Estos pueden utilizar metodologías correlacionales, como la regresión múltiple, análisis de estructuras latentes, como el análisis factorial y análisis de variables latentes (Miyake et al., 2000; Pineda, Merchán, Rosselli & Ardila, 2000). Los resultados indican que en general hay que considerar los tests de FE como "impuros", con cargas diferenciales de distintas funciones sobre cada uno y factibles de ser descompuestos en procesos u operaciones más básicas.

Esto resalta que no es tarea sencilla clasificar los tests de acuerdo a la función que miden. Una aproximación para profundizar al respecto consiste en indagar sobre su expresión ecológica y etológica (Ardila, 2008; Chan et al. 2007). Los ámbitos de la vida cotidiana son muy diferentes entre sí en cuanto a los espacios informacionales que implican, y esto hace que la exigencia de procesamiento también sea desigual. La demanda de actividad ejecutiva es heterogénea en relación a los espacios informacionales, y en esto contribuyen dimensiones como que tan novedoso, estructurado, peligroso y cognitivamente exigente resulten.

Se entiende por validez ecológica a la propiedad que tiene un test de establecer una relación funcional entre el rendimiento de una persona y la expresión conductual en ámbitos cruciales de la vida, como el trabajo, las relaciones sociales y la actividad escolar (Burin, Drake y Harris, 2007). La preocupación por la expresión ecológica de los tests de FE es considerable, ya que diferentes estudios han encontrado que no siempre hay relación entre un rendimiento deficiente en pruebas de FE y dificultades en la vida cotidiana (Chan et al. 2007; Semenova, 2005).

Como los tests clásicos de FE son altamente estructurados, se han diseñado tareas que implican solucionar problemas en condiciones similares a los que presenta la vida diaria, para intentar aumentar su validez ecológica. Un ejemplo consiste en hacer que el paciente encuentre un edificio público cercano al punto

de evaluación, acompañado por el neuropsicólogo (Strauss, Sherman & Spreen, 2006). También los inventarios conductuales fueron creados para captar las dificultades que puede presentar una persona y que escapan a los tests clásicos, como el Behavioral Assessment of the Disexecutive Syndrome (BADS) (Wilson, 1993). Pruebas diseñadas con miramiento a su validez ecológica son: el Wason Selection Task, el Executive Golf Task (Morris, Downes, Sahakian, Evenden, Heald & Robbins, 1998) y el Route Finding Task (Chaytor, Schmitter-Edgecombe & Burr, 2006).

Chan et al. (2007) proponen también evaluar las pruebas de FE de acuerdo a su validez etológica. Desde esta perspectiva, cada función cognitiva debe ubicarse en el marco del devenir evolutivo de la especie humana, es decir, se analiza bajo qué condiciones puede haber sido ventajosa la aparición de una capacidad o función.

De este modo, se estudia de qué manera ciertas condiciones evolutivas de la humanidad, como la creación de alianzas sociales, la evitación de predadores, la cooperación, la búsqueda de pareja y la conducta de crianza, determinan el contexto en el cuál tienen sentido estas funciones (Ardila, 2008). Esto se relaciona con las funciones ejecutivas “calientes” y le otorga sentido a aquellos sesgos en el procesamiento de la información que no pueden ser captados mediante la presentación de estímulos abstractos.

La mirada etológica limitaría la multiplicación de funciones, ya que cada una tendría que tener una justificación evolutiva. De esta manera, se podría evitar que la neuropsicología de las funciones y capacidades se convierta en una nueva frenología o repita la doctrina de las facultades del alma.

### ***5. Dificultades en la Evaluación de las Funciones Ejecutivas Mediante Tests Neuropsicológicos***

Teniendo en cuenta lo desarrollado hasta aquí, se aprecia que las principales dificultades en el uso de tests en FE provienen tanto de la naturaleza de los desarrollos teóricos como de características de las pruebas. Cuando se repasan los problemas de la evaluación neuropsicológica en FE es difícil separar qué responsabilidad compete a los modelos conceptuales y a las propiedades psicométricas de los tests. Por ejemplo, el problema de la impureza de los tests implica que hay tal cantidad de funciones, capacidades y operaciones asociadas, que cada prueba está lejos de corresponder unívocamente a una función (Miyake et al., 2000).

Un ejemplo típico es el WCST, el test más utilizado en Estados Unidos para evaluación de FE (Strauss, Sherman & Spreen, 2006): se ha reportado que

esta prueba mide desde flexibilidad cognitiva, control inhibitorio, memoria de trabajo, atención sostenida, categorización, reglas de inducción, procesamiento visual, nivel adecuado de motivación, procesamiento numérico, mantenimiento de un set, retroalimentación hasta formación de conceptos, entre otras funciones. Por su parte, se ha reportado que las pruebas de fluidez verbal implican memoria de trabajo, atención sostenida, monitoreo, capacidad de iniciación y habilidades de búsqueda de la memoria, entre otras (Abraham, Della Valentina, Gauchat y Marino, 2008; Fernández, Marino y Alderete, 2002; Ruff et al. 1997).

Una de las causas propuestas de esta impureza radica en el origen de estos tests, muchos de ellos diseñados en contextos teóricos ajenos a la neuropsicología. Cuando se reutilizaron en este marco, se propuso que median funciones y capacidades relacionadas con modelos cognitivos, pero como en su origen estaban diseñadas para evaluar constructos tan generales como inteligencia, eso no pudo ser controlado teóricamente, pese a las estrategias multivariadas para incorporarlos a la explicación neurocognitiva.

Otra de las dificultades en el uso de tests para evaluar FE reside en la carencia de pruebas aptas para volver a ser utilizadas por la misma persona. Debido a que las FE implican la formación de estrategias para resolver tareas, una vez que la persona elaboró una, la conserva, y al presentársele otra vez la misma actividad puede identificar la manera de cómo afrontarla, aunque cabe reconocer que esta no es condición exclusiva de los tests ejecutivos. El involucramiento de aspectos estratégicos para responder ante estos tests afecta también la confiabilidad en mediciones inter-sujetos, ya que las estrategias varían cualitativamente y puede resultar erróneo comparar dos personas solo por el puntaje final obtenido. Además, las estrategias suelen tener el carácter todo o nada, generando resultados finales dicotómicos (se resolvió o no), lo cuál puede provocar puntajes finales cercanos a los extremos. En este sentido, resultarían sumamente útiles los análisis dirigidos por la teoría de respuesta al ítem, en detrimento de la teoría clásica de los tests (Chan et al. 2007).

Otra de las dificultades más citadas en la literatura es la estructuración de las tareas. Como las FE implican crear estrategias para adaptarse a una situación ambigua o poco estructurada, los tests muchas veces tienen un espacio de problemas demasiado claro como para activar estas funciones. Frente a esto, se han diseñado tests como el Hotel Test o el Route Finding Test (RFT) que mantienen la ambigüedad de la vida cotidiana, y que presentan como disponibles recursos que la persona

puede aprovechar o no, más allá de la consigna que se le brinde. Por ejemplo, en el RFT la persona puede utilizar preguntas a agentes externos para guiarse hacia la meta, sin que se le indique claramente a quién y cómo hacerlo.

También se reporta como una dificultad la escasa coherencia entre los rendimientos de una persona en diferentes tests de FE, evidenciando tanto que se trata de un constructo complejo como que la denominación ontológica FE no responde claramente a un módulo encapsulado de funcionamiento. Es común encontrar que una persona rinde de modo normal en una prueba de FE, luego decae notablemente en otra y vuelve a obtener un puntaje aceptable en la siguiente. Una respuesta a esta problemática es el diseño de conjuntos de tests de FE, como los explicados en la sección de clasificación de tests.

En conclusión, teniendo en cuenta los desacuerdos conceptuales que tienen las FE, es lógico esperar que los mismos acarreen consecuencias sobre sus instrumentos de evaluación. A esto se le agrega que el concepto mismo tiene una complejidad ontológica difícil de operacionalizar, y que la unidad de análisis de su evaluación excede al sistema cognitivo y alcanza también a la conducta de la persona misma. El desarrollo de ontologías e inferencias inversas representa un camino para encontrar soluciones al respecto.

## 6. *Desarrollo de Ontologías e Inferencias Inversas*

Importantes líneas de investigación actuales proponen dos vías para organizar el conocimiento sobre la relación entre tests, procesamiento de la información y actividad nerviosa. Estos caminos podrían aportar soluciones al problema en cuestión.

Uno es el desarrollo de ontologías, que suponen un campo interdisciplinario para aumentar la interoperabilidad entre datos provenientes de investigaciones de niveles de análisis muy diversos (Kola et al., 2010). Las ontologías intentan establecer cuáles son los elementos que componen un universo de interés, buscando consensos preteóricos para incluir los conceptos teóricos en una matriz integradora. A diferencia del concepto filosófico clásico de ontología (pregunta por el ser en cuanto ser), las ontologías científicas buscan determinar lo que es en cuanto universo de conocimiento específico, con aplicaciones informáticas prácticas. Un ejemplo es el Cognitive Map, que integra información en los siguientes niveles: genético, neurotransmisión, redes neuronales, conceptos cognitivos, cuadros clínicos y tests neurocognitivos (Poldrack, 2006). Su misión es integrar investigaciones

en neurociencias cognitivas que hayan utilizado imágenes cerebrales en contextos clínicos (Temal, Dojat, Kassel & Gibaud, 2008). Se considera que es necesario el desarrollo de una ontología relacionada con las FE, para limitar la dispersión teórica y pasar a un nivel supraordinal que coordine las propuestas que se presentan.

El otro camino es trabajar en inferencias inversas, de acuerdo a los teoremas bayesianos. Las inferencias inversas son una propuesta de Poldrack (2006) para cambiar el orden habitual de pensamiento en cuanto a la relación test- función cognitiva- zona cerebral. La organización más común de estos elementos es diseñar un experimento donde un test implica determinadas funciones cognitivas y se observa que zonas cerebrales resultan activadas. El test y las funciones cognitivas se dan por conocidos, mientras la incógnita recae en las zonas cerebrales que se ven comprometidas. Una vez obtenida la imagen cerebral, se afirma que X test, relacionado con Y función, produce la activación de Z zona cerebral. Sin embargo, este procedimiento corre el riesgo de arrastrar las ambigüedades teóricas de los tests y modelos cognitivos al lenguaje cerebral, ya que, como se ha visto, los vínculos entre los tests y los modelos de procesamiento de la información no tienen un consenso confiable.

Poldrack (2006) se pregunta entonces bajo qué condiciones las imágenes cerebrales permitirán inferir los procesos cognitivos, dejando como incógnita la función cognitiva, tomando el test como tarea y la imagen cerebral como dato.

La pregunta pasa a ser: Dada esta actividad cerebral, y conociendo el test ¿qué función o capacidad cognitiva está siendo activada? ¿Qué procesos cognitivos acontecen para que las imágenes cerebrales funcionales presenten este patrón de activación?

Este tipo de razonamiento se encuentra dentro de la lógica abductiva (Samaja, 1994). Poldrack (2006) propone aplicar el teorema de Bayés (ver Figura 3) para calcular probabilidades inversas. Este tipo de razonamiento se ubica dentro de las denominadas probabilidades subjetivas, un campo fecundo de análisis sobre cómo se construyen las probabilidades en el conocimiento cotidiano.

En el presente se ilustrará como se puede trabajar con tests de funciones ejecutivas en inferencias inversas, a partir de una hipotética experimentación sobre una prueba de fluidez verbal de letra excluida (PFV- LE). Esta se aplica en un contexto de obtención de imágenes funcionales a partir de un resonador magnético.

La fórmula del teorema de Bayés es la siguiente:

$$P(A_i|B) = \frac{P(B|A_i)P(A_i)}{P(B)} = \frac{P(B|A_i)P(A_i)}{\sum_{j=1}^n P(B|A_j)P(A_j)}$$

Donde B es una activación detectada en el tercio posterior de la región dorsolateral prefrontal izquierda (TP- DLPI). Este es un evento B que sirve como dato para el experimentador y lo importante es que tiene el valor de evidencia. Ahora, dada la evidencia de B ¿cuál es la actividad cognitiva que se puede inferir, teniendo en cuenta que se está aplicando PFV- LE? Aquí se debe revisar la literatura correspondiente a PFV- LE para conocer los procesos cognitivos relacionados con su ejecución. A un nivel ontológico se ponen en juego los modelos cognitivos y su capacidad descriptiva de la ejecución de tests.

Esto es muy exigente, ya que en el teorema de Bayés el evento A (la actividad cognitiva que se desea conocer) debe ser un evento cuya probabilidad sumatoria sea 1, lo que supone un modelo de regresión  $R^2 = 1$  (tres veces por encima de los valores realmente hallados). Esto implica descomponer el test en componentes cognitivos asociados de una manera exhaustiva.

Suponiendo que una investigación psicométrica determina que en PFV- LE la participación de los componentes cognitivos es la siguiente:

Procesamiento semántico ejecutivo= 0.51

Memoria de trabajo= 0.37

Control inhibitorio= 0.12

Se obtienen así las probabilidades A en el evento PFV-LE. Luego, se deja de lado este evento porque el teorema de Bayés hace otra exigencia de conocimientos fuertemente desafiante para los tests neuropsicológicos: ¿Cuál es la probabilidad de que se active TP- DLPI en tests específicos de cada componente cognitivo, independientes de PFV- LE? Para responder esto es necesario recurrir a bases de datos como Cognitive Map, donde se encontrarían estas hipotéticas probabilidades:

En pruebas de procesamiento semántico ejecutivo= 0.12

En pruebas de memoria de trabajo= 0.24

En pruebas de control inhibitorio= 0.05

Las probabilidades que aquí se obtienen son las relativas al entrecruzamiento entre el suceso B y los componentes cognitivos A. En la fórmula representan los valores de  $(B/A)$ . Se recuerda la evidencia: efectivamente se activó TP- DLPI (suceso B) en el contexto PFV-LE. Las probabilidades de cada función se dividen ahora en a priori y a posteriori, siendo las

probabilidades a priori los valores conocidos (procesamiento semántico ejecutivo= 0.51; memoria de trabajo= 0.37; control inhibitorio= 0.12) para un contexto PFV-LE.

Ahora, las probabilidades a posteriori cambian porque el resonador magnético informó del evento TP- DLPI. Entonces, se aplica la fórmula del teorema de Bayés, y se tiene:

Probabilidad de activación del procesamiento semántico ejecutivo:

$$P(A_i/B) = \frac{0.12*0.51}{(0.12*0.51) + (0.24*0.37) + (0.05*0.12)} = \mathbf{0.39}$$

Probabilidad de activación de memoria de trabajo:

$$P(A_i/B) = \frac{0.24*0.37}{(0.24*0.37) + (0.12*0.51) + (0.05*0.12)} = \mathbf{0.57}$$

Probabilidad de activación del control inhibitorio:

$$P(A_i/B) = \frac{0.05*0.12}{(0.05*0.12) + (0.24*0.37) + (0.12*0.51)} = \mathbf{0.04}$$

De esta manera, dada una activación en TP-DLPI, en el contexto PFV-LE, la mayor probabilidad reside en actividad de la memoria de trabajo.

Como se pudo apreciar, el ejercicio de inferencia inversa presupone un conjunto de conocimientos previos que pueden alcanzarse mediante el desarrollo de modelos teóricos potentes sobre la relación entre actividad cognitiva y tests, y de ontologías ejecutivas que permitan la acumulación de datos de investigaciones en un banco común provisto de niveles de análisis.

Alcanzar este grado de desarrollo permitiría perfeccionar el lenguaje cognitivo, poniendo límites matematizables a la proliferación de términos funcionales y serviría para identificar los procesos que implican los tests.

## 7. Una Nueva Generación de Instrumentos de Evaluación de FE

Chan et al. (2007) destaca que la nueva generación de tests en evaluación de FE tendrá una relación diferente con la teoría, porque se desprenderá directamente de marcos conceptuales genuinos de la neuropsicología aplicada a este concepto. De acuerdo con Miyake et al. (2000), los tests podrán evaluar operaciones básicas ejecutivas, potenciándose el aprovechamiento de los diseños que surjan desde contextos experimentales. También se pueden incorporar avances tecnológicos, como lo hizo Morris et

al. (1998) creando tests ejecutivos mediante realidad virtual.

El análisis del contenido conceptual de los tests estaría en condiciones de utilizar estudios multidimensionales, donde cada uno pueda ser determinado como una combinación de coordenadas dentro de un conjunto de dimensiones básicas, tales como exigencia de velocidad, entrada sensorial, cantidad de información procesada, uso de recursos y tipos de memoria, unidades semánticas procesadas, unidades de permanencia prospectiva, entre otras. Además, estas dimensiones podrían relacionarse con ontologías ejecutivas diseñadas de forma multidisciplinaria y aprovechar las inferencias inversas para considerar cada test como un grado de rotación de las dimensiones en un espacio común, relacionándose cada cambio de coordenadas con cambios en la actividad nerviosa.

A esto debe sumarse que los tests tendrían que tener un estudio etológico y ecológico, con codificaciones adecuadas de los espacios informacionales. Como señala Chan et al. (2007), la nueva generación de tests tendrá en cuenta todos los desarrollos teóricos de componentes específicos. Con esto quiere significar que una depuración del lenguaje ejecutivo provendrá no solo de la inventiva de modelos teóricos, sino de datos provenientes de las imágenes cerebrales, la tecnología y la interoperabilidad ontológica.

Es importante considerar que las FE deberían poder ser evaluadas en ámbitos fuera de la situación de evaluación de tests, con captaciones fenomenológicas claras y discernibles de otras capacidades. Quizá esto tenga una dificultad metodológica mayor, ya que, como quedó establecido en el análisis de la estructura de las definiciones de FE, este concepto puede tener como unidad de análisis variables tanto de la cognición como de la conducta y de la persona como una entidad global.

Lo que se acaba de señalar se relaciona con la concepción de sujeto de la neuropsicología de las FE y su cercanía al sujeto de la psicología funcionalista. Entonces, una revisión del concepto de FE y de sus instrumentos de medición podría significar también una interfase para analizar las consecuencias del desarrollo de la neuropsicología sobre las concepciones de sujeto propias de la psicología. Quizá en las FE se encuentre una clave para analizar tal impacto, interesante desde el punto de vista histórico y epistemológico de esta ciencia.

### Referencias

Abraham, M., Della Valentina, R., Gauchat, S. & Marino, J.

- (2008) Valores Normativos de la Prueba de Fluidez de Acción (Nombramiento de Verbos). *Neuropsicología, Neuropsiquiatría y Neurociencias*, 8, 11-19.
- Ardila, A. (2008). On the evolutionary origins of executive functions. *Brain and Cognition*, 68, 92-99.
- Ardila, A. & Rosselli, M. (2007). *Neuropsicología clínica*. México: El Manual Moderno.
- Bechara, A., Damasio, H., Damasio, A & Anderson, S. (1994). Insensitivity to future consequences following damage to human prefrontal cortex. *Cognition*, 50, 7-12.
- Burin, D., Drake, M. & Harris P. (2007). *Evaluación neuropsicológica en adultos*. Buenos Aires: Paidós.
- Chan, R., Shum, D., Touloupoulou, T. & Chen, E. (2008). Assessment of executive functions: Review of instruments and identification of critical issues. *Archives of Clinical Neuropsychology* 23, 201-216.
- Chaytor, N., Schmitter-Edgecombe, M., & Burr, R. (2006). Improving the ecological validity of executive functioning assessment. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 21, 217-227
- Collette, F, Hogge, M, Salmon, E & Van Der Linden, M (2006). Exploration of the neural substrates of executive functioning by functional neuroimaging. *Neuroscience*, 139, 209-221.
- De Vega, M. (1998). *Introducción a la Psicología Cognitiva*. Madrid: Alianza.
- Fassbender, C., Murphy, K., Foxe, J., Wylie, G., Javitt, D., Robertson, I. & Garavan, H. (2004). A topography of executive functions and their interactions revealed by functional magnetic resonance imaging. *Cognitive Brain Research*, 20, 132-143.
- Fernández, A., Marino, J. & Alderete A. (2002). Estandarización y validez conceptual del Test del Trazo en una muestra de adultos argentinos. *Revista Neurológica Argentina* 27, 83-88
- Fuster, J.M. (2001) The Prefrontal Cortex – An Update: Time is of the Essence. *Neuron*. 30, 319-333.
- Goldman Rakic, P. (1997). The cortical dopamine system: role in memory and cognition. *Advances in pharmacology*, 42, 707-711.
- Berg, E. (1948). A simple objective technique for measuring flexibility in thinking. *Journal of General Psychology*, 39, 15-22.
- Hull, R., Martin, R., Beier, M., Lane, D. & Hamilton, A. (2008). Executive function in older adults: a structural equation modeling approach. *Neuropsychology*. 22 (4). 508-522.
- Huettel, S., Misiurek, J., Jurkowski A & McCarthy, G. (2004). Dynamic and strategic aspects of executive processing. *Brain Research*, 1000, 78-84.
- Huizinga, M., Dolan, V. & Van Der Molen, M. (2006). Age-related change in executive function: developmental trends and a latent variable analysis. *Neuropsychologia*. 44, 2017-2036
- James, W. (1890). Principios de psicología. En: J. Brennan (Ed.) *Psicología: historia y sistemas*. México: Pearson.
- Kaplan, G., Şengör, N., Gürvit, H., Genç, I. & Güzeliş, C.

- (2006). A composite neural network model for perseveration and distractibility in the Wisconsin Card Sorting Test. *Neural Networks* 19, 375-387
- Karpov, B., Luria, A. & Yarbuss, A. (1968). Disturbances of the structure of active perception in lesions of the posterior and anterior regions of the brain. *Neuropsychologia*, 6, 157-166.
- Koechlin, E. & Summerfield, C. (2007). An information theoretical approach to prefrontal executive function. *Trends in cognitive science*, 11, 229-235.
- Kola, J., Harris, J., Lawrie, S., Rector, A., Goble, A. & Martone, M. (2010). Towards an ontology for psychosis. *Cognitive Systems Research*, 11 (1), 42-52.
- Lezak, M. (1983). *Neuropsychological assessment*. (2<sup>nd</sup> ed.) New York: Oxford University Press.
- Lezak, M. (1995) *Neuropsychological assessment*. (1<sup>st</sup> ed.) New York: Oxford University Press.
- Luria, A. (1984). *El cerebro en acción*. Barcelona: Martínez Roca.
- Manly, T., Hawkins, K., Evans, J., Woldt, K. & Robertson, I. (2002). Rehabilitation of executive function: facilitation of effective goal management on complex tasks using periodic auditory alerts. *Neuropsychologia*, 40, 271-281.
- Marino, J., Fernández, A. & Alderete A. (2001) Valores normativos y validez conceptual del test de laberintos de Porteus en una muestra de adultos argentinos. *Revista Neurológica Argentina*, 26, 102-107
- Miyake, A., Friedman, N., Emerson, M., Witzki, A., Howerter, A. & Wager, T. (2000) The Unity and Diversity of Executive Function and Their Contributions to Complex "Frontal Lobe" Tasks: A Latent Variable Analysis. *Cognitive Psychology*, 41, 49-100.
- Morris, R., Downes, J., Sahakian, B., Evenden, J., Heald, A. & Robbins, T. (1998). Planning and spatial working memory in Parkinson's disease. *Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry*, 51, 757-766.
- Nyhus, M. & Barceló, F. (2009). The Wisconsin Card Sorting Test and the cognitive assessment of prefrontal executive functions: A critical update. *Brain and Cognition*, 71, 437-451
- Pineda, D., Merchán, V., Rosselli, M. & Ardila, A. (2000) Estructura factorial de la función ejecutiva en estudiantes universitarios jóvenes. *Revista de Neurología*, 12, 1112- 1118
- Poldrack, R. (2006). Can cognitive processes be inferred from neuroimaging data? *Trends in cognitive science*, 10, 59-63.
- Reyes Sánchez, P. & Slachevsky, A. (2008). Anatomía funcional del córtex prefrontal. En: E.Labos, F.Manes, A.Slachevsky & J. Fuentes (Eds.) *Tratado de neuropsicología clínica*. México: Akadia.
- Ruff, R., Light, R., Parker, S. & Levin H (1997). The psychological construct of word fluency. *Brain and language* 57, 394-405
- Samaja, J. (1994). *Epistemología y Metodología*. Buenos Aires: Eudeba.
- Semenova, O. (2005). Problems of studying executive functions of mental activity in humans. *Human physiology* 31, 715-723.
- Shallice, T. (1982). Specific impairments of planning. *Philosophical transactions of the Royal Society of London*, 298, 199-209.
- Shallice, T & Burgess, P (1991). Deficit in strategy application following frontal lobe damage in man. *Brain*, 114, 727-741.
- Simmonds, D., Pekar, J., & Mostofsky, S. (2008). Meta-analysis of Go/No-go tasks demonstrating that fMRI activation associated with response inhibition is task-dependent. *Neuropsychologia*, 46, 224-232.
- Slachevsky, A., Pérez, C., Silva, J., Orellana, J., Prenafeta, ML., Alegría, P. & Peña, M. (2005). Cortex prefrontal y trastornos del comportamiento. Modelos explicativos y métodos de evaluación. *Revista chilena de neuropsiquiatría*. 43, 109-121
- Strauss, E., Sherman, E. & Spreen, O. (2006). *A Compendium of Neuropsychological Tests: Administration, Norms, and Commentary (Hardcover)*. New York: Oxford University Press.
- Stuss, D., Shallice, T., Alexander, M & Picton, T (1995). A multidisciplinary approach to anterior attentional functions. *Annals of the New York academy of sciences*, 769, 191-209.
- Sugarman, R. (2002). Evolution and executive functions: why our toolboxes are empty? *Revista Española de Neuropsicología*, 4, 351-377
- Sylvester, C., Wager, T., Lacey, S., Hernandez, L., Nichols, T. Smith, E. et al. (2003). Switching attention and resolving interference: fMRI measures of executive functions. *Neuropsychologia*, 41, 357-370.
- Tirapu- Ustarroz, J., Muñoz Céspedes, J. & Pelegrín Valero, C. (2002). Funciones ejecutivas: necesidad de una integración conceptual. *Revista neurológica de España*, 34, 673-685.
- Wilson, B. (1993). Ecological validity of neuropsychological assessment: Do neuropsychological indexes predict performance in everyday activities? *Applied and Preventive Psychology*, 2, 209-215.
- Zanolie, K., Van Leijenhorst, L., Rombouts, S. & Crone, E. (2008). Separable neural mechanisms contribute to feedback processing in a rule-learning task *Neuropsychologia*, 46, 117-126