

Aspectos neurofisiológicos y neuropsicológicos del aprendizaje de categorías*

Mariana Arismendi, Gerardo Primero, Angel Tabullo, Sandra Vanotti,
Alberto Yorio

Facultad de Psicología, Universidad de Buenos Aires

Resumen

El aprendizaje de categorías es uno de los temas de mayor amplitud y controversia de la psicología contemporánea. Siguiendo al enfoque "biocomportamental" se describirán algunos aspectos comportamentales, neurofisiológicos y neuropsicológicos reportados recientemente. Los aspectos conductuales del aprendizaje conceptual se describirán desde el análisis experimental del comportamiento, dando cuenta en forma detallada de los distintos tipos de clases de estímulos (o categorías) y de la manera en que se estudian en humanos y otras especies. Particularmente se tratará el paradigma de las clases de equivalencia formulado por Sidman, por haber generado importantes avances en la comprensión de las bases comportamentales de la conducta simbólica. Luego se discutirán algunos de los eventos o procesos neurofisiológicos que tienen lugar durante la formación de categorías. También se mencionarán los aportes de la aplicación del paradigma teórico y experimental de las clases de equivalencia al campo de la neuropsicología. Finalmente se discutirá la posible utilidad de los aspectos neurofisiológicos y neuropsicológicos mencionados para el estudio del aprendizaje de categorías.

Palabras clave: categorías, conceptos, clases de equivalencia, biología del comportamiento.

Abstract

Category learning is one of the most controversial and widely studied topics of contemporary psychology. According to the "biobehavioral" approach, certain recently reported neuropsychological, neurophysiological and behavioral aspects will be described. The behavioral aspects of conceptual learning will be described from the experimental analysis of behavior, by providing a detailed account of the different stimuli (or categories) class types and of the manner in which they are studied in humans and other species. Particularly, the equivalence class paradigm, postulated by Sidman, will be dealt with, on account of the significant advances in the understanding of the behavioral bases of symbolic behavior. Afterwards, several intra-organic processes or events taking place during category formation will be described, from their corresponding analysis level: the neuroanatomical and the physiological ones. Also, the contributions to the application of the experimental and theoretical paradigm of equivalence classes to the field of Neuropsychology will be mentioned. Finally, the possible utility of the mentioned neurophysiological and neuropsychological aspects for the study of category learning will be commented.

Key words: categories, concepts, equivalence classes, biobehavioural approach.

* Trabajo financiado por la Facultad de Psicología de la Universidad de Buenos Aires, en el marco del proyecto UBACyT P10

1. El aprendizaje de conceptos desde la perspectiva bio-comportamental

Keller y Schoenfeld (1950) definen al concepto o categoría como un grupo de objetos que obtienen la misma respuesta, es decir, una clase de estímulos que ocasionan conductas comunes en un contexto dado.

Desde el enfoque "biocomportamental" (Figura 1), la conducta compleja en general y el estudio de la formación de conceptos en particular, se aborda considerando un conjunto de eventos que ocurren a nivel conductual, y fisiológico. Los hallazgos a nivel conductual son independientes de hallazgos a nivel fisiológico, aunque por supuesto, deben ser consistentes entre sí. De este modo, el análisis del comportamiento conceptual se completa con el de los correlatos neurales observados.

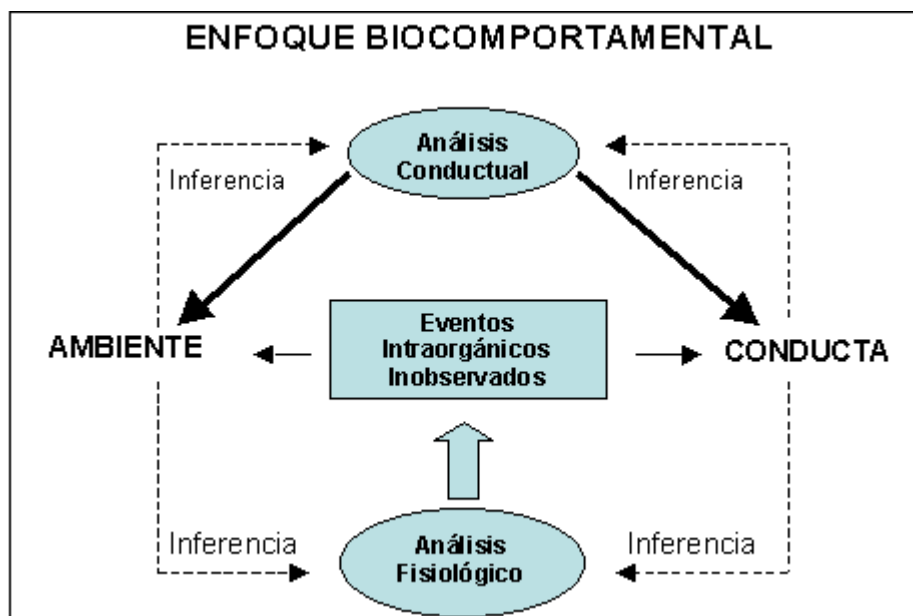


Figura 1. El enfoque biocomportamental

El enfoque biocomportamental sólo apela a eventos conductuales y fisiológicos que han sido investigados previamente, evitando la especulación sin evidencia. Cuando la investigación previa es insuficiente para explicar los datos, este abordaje realiza nuevos análisis experimentales independientes (fisiológicos y conductuales), en lugar de hacer nuevas inferencias, evitando caer en razonamientos circulares.

En este enfoque se denomina "clases de estímulos" a aquéllos que comparten una o varias propiedades generando una misma respuesta en el organismo. Dos fenómenos complementarios, generalización y discriminación, caracterizan el

comportamiento conceptual. En la generalización, las respuestas aprendidas para los estímulos de la clase son emitidas ante nuevos estímulos, cuando estos tienen suficientes propiedades en común con ellos, por ejemplo, la respuesta de ingesta frente a un nuevo alimento. En la discriminación, el organismo responde diferencialmente a los estímulos cuando estos pertenecen a clases diferentes, por ejemplo, un animal responde con conductas de aproximación frente a una presa y con conductas de huida frente a un depredador (Keller y Schoenfeld, 1950).

Podemos distinguir diferentes tipos de clases, de acuerdo a las propiedades que comparten sus miembros. A continuación discutiremos en detalle algunas de ellas.

1.1. Clases perceptuales

En las clases perceptuales, los estímulos comparten propiedades físicas (color, forma, tamaño, etc) y producen el mismo efecto sobre la conducta. Por ejemplo, si se refuerza la conducta de una paloma de picotear figuras de objetos de color verde (y no de otros colores) que presentan distintos tamaños, formas y complejidad; la paloma picoteará como resultado solamente nuevas figuras verdes, con independencia del resto de las propiedades del estímulo, y evitará picotear imágenes de otro color. Se dice entonces que la paloma está discriminando en la dimensión de estímulo color y generalizando en las dimensiones tamaño, forma y complejidad, respondiendo al concepto de "verde".

Las clases perceptuales también pueden basarse en una combinación de dimensiones. Por ejemplo, puede reforzarse el picoteo de la paloma solamente frente a figuras verdes de tamaño grande y no frente a figuras verdes y pequeñas, o de otros colores. Luego del entrenamiento, la paloma picoteará únicamente nuevas imágenes grandes y verdes, discriminando en las dimensiones de tamaño y color y generalizando en el resto. Es decir, la paloma responde al concepto de "objeto grande y verde" (ver Figura 2). Las combinaciones de dimensiones que definen a una clase perceptual pueden ser lo suficientemente complejas como para permitirle a una paloma distinguir, luego de un entrenamiento, entre figuras con y sin seres humanos; extendiéndose este comportamiento a imágenes (Hernstein y Loveland, 1964; Siddal y Malott, 1972). Incluso conceptos como "pintura impresionista" y "pintura cubista" pueden controlar la conducta de las palomas (Watanabe, 1995). Entrenadas para discriminar entre imágenes de Monet y Picasso, las palomas sostuvieron este comportamiento frente a cuadros de otros pintores impresionistas y cubistas.

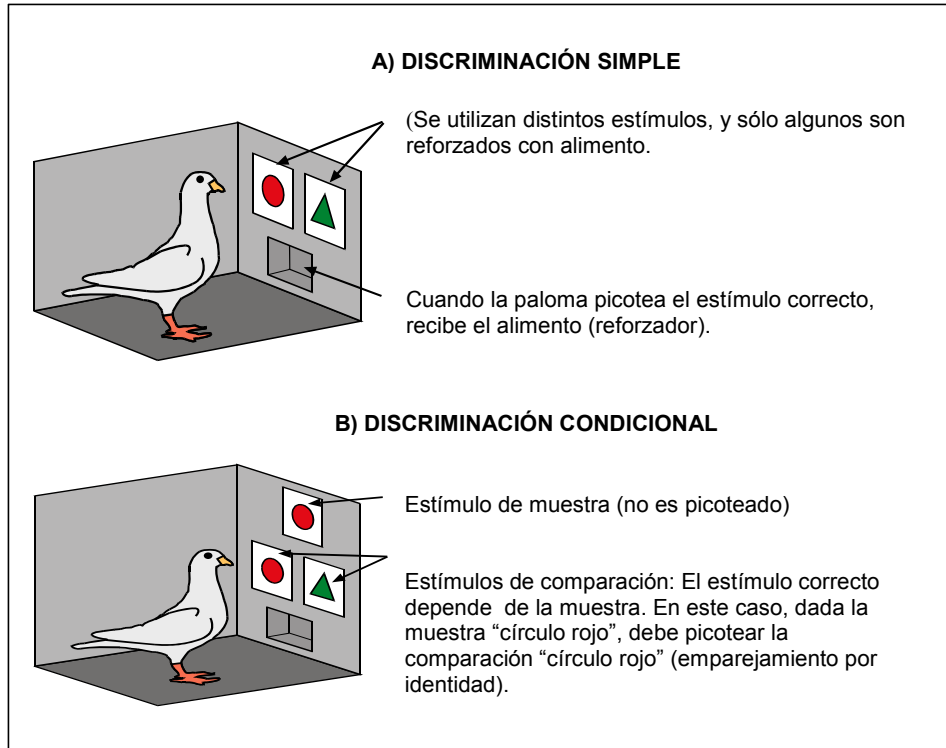


Figura 2. Clases perceptuales: discriminación simple y condicional

1.2. Clases funcionales

En las clases funcionales, los estímulos tienen el mismo efecto sobre la conducta, es decir que son funcionalmente intercambiables, independientemente de sus propiedades físicas (Goldiamond, 1962). Por ejemplo, tanto la imagen de una silla como la palabra escrita "silla" pueden evocar en un sujeto la respuesta oral "silla", siendo en este sentido estímulos funcionalmente intercambiables. En un experimento (Vaughan, 1988) se presentó a un grupo de palomas una serie de figuras de árboles sobre una pantalla y se reforzó el picoteo solamente para la mitad de ellas. Como resultado, se formaron dos clases funcionales de estímulos: las figuras de árboles reforzadas, que elicitaban la respuesta de picoteo y las no reforzadas, que no la producían. Una vez establecidas estas clases, la contingencia de refuerzo se invirtió (las imágenes no reforzadas pasaron a ser las reforzadas y viceversa). Como resultado, luego de un entrenamiento con un número limitado de imágenes de ambas clases, las palomas fueron capaces de generalizar el cambio de comportamiento para el resto de los miembros de cada clase, manifestando así su equivalencia funcional. Este tipo de transmisión del aprendizaje de un estímulo a otro u otros, sin entrenamiento directo, se denomina "transferencia de función", y ha sido propuesta como uno de los requisitos para el comportamiento simbólico.

El lenguaje se caracteriza por la transferencia de función en ambos sentidos, entre la palabra y el objeto. Una vez que aprendemos la asociación entre un símbolo o palabra y su referente, reaccionamos ante el símbolo en forma similar a cómo reaccionaríamos frente a lo que representa. Por un lado, podemos actuar con las palabras en función de los referentes (por ejemplo, responder preguntas sobre un objeto ausente). Asimismo, podemos actuar con los referentes en función de las palabras (por ejemplo, cuando recibimos información verbal). Si me comentan que "Juan es un ladrón", mi conducta será afectada por las propiedades del concepto "ladrón", que se transfieren al concepto "Juan". Los ejemplos más interesantes de estas clases se encuentran en la conducta verbal, pero no se restringen a ellas.

1.3. Clases de equivalencia

Las clases de equivalencia son aquellas en las cuales la relación establecida entre sus miembros cumple con los criterios de reflexividad, simetría y transitividad (Sidman 1971, 1982). Las clases de equivalencia se establecen experimentalmente al entrenar una serie de relaciones arbitrarias en un conjunto de estímulos, tradicionalmente mediante procedimientos de emparejamiento con la muestra. El procedimiento consiste en presentar un estímulo de muestra seguido de dos o más estímulos de comparación y reforzar la selección de los estímulos de comparación de acuerdo al estímulo de muestra. Por ejemplo, presentando como muestra la imagen de un cuadrado y las de dos líneas, vertical y horizontal como comparación, se refuerza la elección de la línea vertical; mientras que dada la imagen de un triángulo como muestra, se refuerza la selección de la línea horizontal. El sujeto aprende de esta manera a relacionar el cuadrado a la línea vertical y el triángulo a la línea horizontal.

De esta manera un sujeto puede ser entrenado para relacionar un estímulo A_1 (en el ejemplo, el cuadrado), con un estímulo B_1 (en el ejemplo, una línea vertical). Luego el sujeto es entrenado para relacionar ese estímulo B_1 con otro estímulo C_1 (por ejemplo, la letra griega "sigma"). Como resultado, pueden verificarse, además de las relaciones entrenadas $A_i \rightarrow B_i$ y $B_i \rightarrow C_i$, otras relaciones que no han sido reforzadas directamente (el subíndice i indica el número particular de los estímulos de muestra y comparación relacionados por reforzamiento, $i = 1$ ó 2). En primer lugar, el sujeto relaciona cada estímulo consigo mismo, eligiendo A_i en presencia de A_i , B_i en presencia de B_i y C_i en presencia de C_i , lo que se conoce como relación de reflexividad. El sujeto también selecciona A_i en presencia de B_i y C_i en presencia de B_i (relación de simetría). Por último, el sujeto selecciona C_i en presencia de A_i (relación de transitividad) y A_i en presencia de C_i (relaciones de simetría y transitividad combinadas). Se dice entonces que los estímulos A_i , B_i y C_i constituyen una clase de equivalencia, en la cual, cada elemento es sustituible por el resto, y el aprendizaje asociado a un miembro se transfiere a toda clase (ver Figura 3).

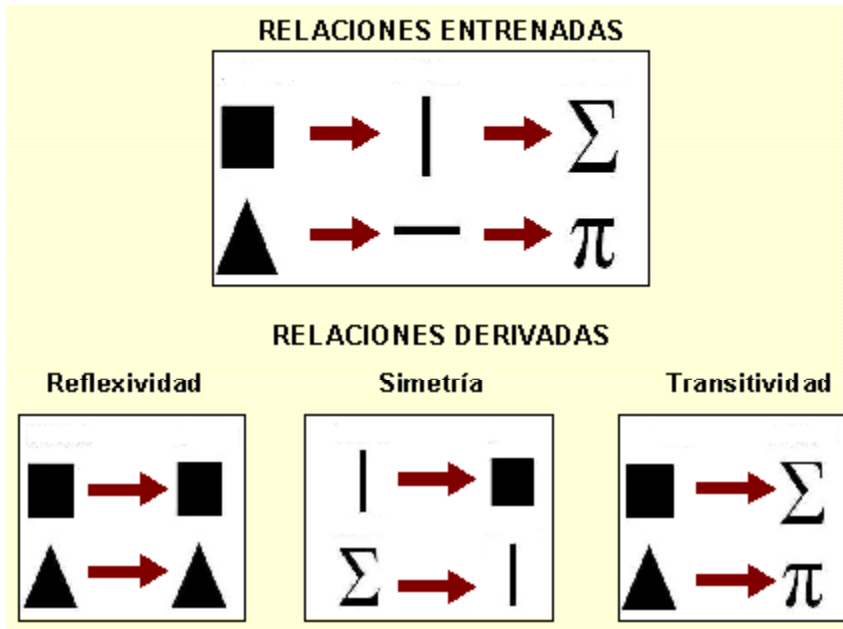


Figura 3. Clases de equivalencia. Relaciones entrenadas: ($A_i \rightarrow B_i, B_i \rightarrow C_i$) y derivadas: reflexividad ($A_i \rightarrow A_i, B_i \rightarrow B_i, C_i \rightarrow C_i$); simetría, ($B_i \rightarrow A_i, C_i \rightarrow B_i$); transitividad ($A_i \rightarrow C_i$), y simetría y transitividad combinadas ($A_i \rightarrow C_i$).

El aprendizaje de relaciones de equivalencia sólo se ha demostrado satisfactoriamente en humanos. Estas diferencias pueden deberse a la historia evolutiva o a la historia pre-experimental.

El interés particular que revisten las clases de equivalencia para el estudio de la formación de conceptos radica en su mayor grado de abstracción respecto de las clases perceptuales o funcionales y en su potencial relevancia para el desarrollo de habilidades intrínsecamente humanas, como el lenguaje.

2. Aspectos neurofisiológicos del paradigma de clases de equivalencia

2.1. Estudios con Resonancia Magnética Nuclear Funcional (RMNf)

El registro del flujo cerebral por Resonancia Magnética Nuclear Funcional es un método de alta resolución espacial que permite identificar con la mayor precisión cambios metabólicos en diferentes regiones del encéfalo según la actividad que realiza el sujeto. Por medio de la técnica de sustracción de los registros hemodinámicos obtenidos durante la realización de distintas tareas, se obtienen indicadores de la activación de diferentes estructuras del SNC correlativas al comportamiento específicamente estudiado.

Dickins y cols. (2001) realizaron un estudio de medición con RMNf, comparando la resolución de tareas de equivalencia y fluencia verbal. Los objetivos del estudio fueron: 1) identificar las estructuras del SNC que presentaran actividad durante la categorización de los estímulos, 2) correlacionar el nivel de desempeño de los sujetos con el grado de actividad neuronal y 3) comparar el patrón de actividad correlativo a las clases de equivalencia con el de una tarea de fluencia verbal.

Participaron del experimento 12 sujetos sanos. En una primera sesión se los entrenó mediante un paradigma de emparejamiento con la muestra, para aprender a relacionar seis clases de tres figuras cada una (A₁₋₆, B₁₋₆ y C₁₋₆).

El registro de actividad hemodinámica cerebral por RMNf se efectuó en una segunda sesión, en la que los sujetos realizaron: 1) el test de las relaciones entrenadas, 2) el test de los criterios de equivalencia (simetría, transitividad, y simetría y transitividad combinadas) y 3) una tarea de fluencia verbal semántica. El método de sustracción se efectuó en base a un registro realizado con una tarea de emparejamiento por identidad entre figuras simples, lo que implicaba realizar una inspección visual del monitor y la preparación y ejecución de la respuesta de selección. Dado que los sujetos tuvieron un desempeño desigual en la prueba de las relaciones de equivalencia, se realizó una comparación adicional de la actividad hemodinámica cerebral entre los sujetos que cumplieron los criterios de equivalencia y aquellos que no los alcanzaron.

Las áreas con actividad hemodinámica específica durante la realización de las tareas de clases de equivalencia fueron principalmente: corteza prefrontal (CPF) bilateral, con predominio en el hemisferio izquierdo (áreas de Brodman 9, 10 y 46). La actividad fue también significativa en la corteza parietal posterior izquierda (AB 7 y 40), extendiéndose a la corteza occipital (AB 19). Se detectó además activación de la corteza del cíngulo anterior, la región de la ínsula, corteza frontal medial, corteza visual primaria, núcleo caudado izquierdo y núcleo pulvinar del tálamo. Durante la tarea de fluencia verbal, la principal diferencia encontrada fue la activación adicional del área de Broca (AB 44, 45) y la región del surco temporal superior. Las comparaciones entre grupos mostraron que los sujetos que no alcanzaron los criterios de equivalencia presentaron menor grado de lateralización en la CPF y ausencia de actividad en el núcleo caudado. Se verificaron además correlaciones elevadas y significativas entre el desempeño en las tareas de equivalencia y el grado de lateralización en la CPF.

Los autores concluyeron que la actividad de la CPF (pero no del área de Broca y perisilviana) es necesaria tanto para categorización basada en clases de equivalencia, como para la producción de palabras pertenecientes a categorías semánticas. Se propuso además que el grado de lateralización izquierda de la actividad CPF podría estar indicando la implicación del lenguaje en la categorización por equivalencia. Por otra parte, la ausencia de activación del área de Broca durante la tarea de equivalencia podría indicar que los sujetos no desarrollaron estrategias de vocalización encubierta (por ejemplo, nombrar pares de estímulos) para resolver la tarea.

En un estudio posterior (Dickins y cols, 2002), se realizaron registros RMNf con una tarea de equivalencia similar, pero empleando como tarea de control el

emparejamiento por identidad utilizando los mismos estímulos de las relaciones entrenadas. En el nivel comportamental, se obtuvieron mayores tiempos de reacción en la tarea de equivalencia respecto a la identidad, mientras que la activación hemodinámica fue superior en regiones prefrontales y parietales izquierdas con respecto a la tarea de control. Considerando ambos experimentos, se concluyó que el emparejamiento por equivalencia implicó una mayor demanda cognitiva. Estos resultados fueron comparados con los de otros estudios con RMNf, en los que, utilizando palabras y figuras en relaciones de referente y significado, se encontraron patrones de actividad hemodinámica similares. Los autores mencionaron la posible relevancia de los hallazgos de actividad RMNf correlativa a clases de equivalencia para el estudio de la categorización semántica.

2.2. Estudios con potenciales relacionados con eventos (PREs)

Las técnicas de promediación de segmentos de trazado electroencefalográfico obtenidos en sucesivos ensayos de una tarea experimental permiten obtener registros en tiempo real de la actividad eléctrica cerebral cortical vinculada con los eventos (estímulos, respuestas) de la tarea. En la actividad eléctrica cerebral que sucede a la presentación de estímulos, es frecuente distinguir los componentes PREs ("picos" o "valles" de la forma de onda) tempranos de los componentes tardíos. Los primeros ocurren dentro de los 200 milisegundos desde el inicio del estímulo y se han correlacionado con el procesamiento de las características físicas de los estímulos (llamados por eso "exógenos"). Los componentes que ocurren después de los 200 ms (llamados "endógenos"), han sido vinculados a procesos del SNC asociados con el comportamiento *conceptual*. Dos componentes PREs bien conocidos son el "P300", componente positivo que aparece alrededor de los 300-600 ms después del inicio del estímulo (relacionado con la discriminación de diferencias físicas entre estímulos sucesivos), y el "N400", componente negativo que aparece alrededor de los 350-600 ms (relacionado con incongruencia semántica entre estímulos sucesivos).

Warren y. McIlvane (1998) y DiFiore, Dube, McIlvane y cols. (2000) realizaron estudios con PREs con el objetivo de registrar componentes de la actividad eléctrica cerebral correlativos a clases de equivalencia en sujetos humanos normales. En uno de ellos se trabajó con 12 adultos sanos, quienes fueron entrenados para formar tres clases arbitrarias de estímulos de seis miembros. Luego del entrenamiento, la tarea experimental consistió en clasificar pares de estímulos como "relacionados" (cuando pertenecían a la misma clase de equivalencia) o "no relacionados". En los registros PREs se observaron componentes del tipo P300 asociados a los pares relacionados y del tipo N400 asociados a los pares no relacionados.

En otro estudio, Balmes-Holmes y cols. (2005) realizaron registros con PREs con el objetivo de establecer si el efecto de facilitación semántica ("priming") que se observa en tareas de decisión léxica con estímulos relacionados, se verifica también utilizando clases de equivalencia. Una primera tarea consistió en el entrenamiento y test de relaciones de equivalencia empleando como estímulos palabras artificiales sin sentido. Antes de iniciar la segunda tarea de decisión léxica, se le dijo a los sujetos

que las no-palabras correspondían a vocablos de un idioma extranjero. El registro de PREs se realizó durante una segunda tarea de decisión lexical en la que los estímulos fueron presentados en pares del tipo "prime – target" y los sujetos debían clasificar los "target" como correspondientes a las palabras del idioma extranjero (vistas previamente) o a no-palabras (nuevas palabras sin sentido). Los resultados comportamentales indicaron menores tiempos de reacción y porcentaje de errores para los pares de no-palabras prime y target relacionados por equivalencia (en comparación a los pares de palabras de distintas clases o nuevas palabras sin sentido), verificando así el efecto de facilitación semántica. Los registros de PREs mostraron negatividades del tipo N400 asociadas a los pares de palabras no relacionados. Los autores concluyeron que, dado que los efectos comportamentales y fisiológicos que se verifican con estímulos relacionados por clases de equivalencia son semejantes a los observados en otros protocolos de priming semántico, las relaciones entrenadas y derivadas de las clases de equivalencia son funcionalmente similares a las relaciones semánticas.

2.3. Cronometría de los componentes de potenciales relacionados con eventos en tareas de relaciones de equivalencia por emparejamiento

En un estudio realizado en nuestro laboratorio (Tabullo y cols., 2007) se entrenaron 8 sujetos con un procedimiento de emparejamiento para formar dos clases de equivalencia de tres estímulos visuales cada una (Figura 3). Luego de un entrenamiento se realizó un registro de PREs durante la tarea de test de relaciones de equivalencia por emparejamiento entre el estímulo de muestra y dos de comparación. Los trazados sincronizados con los estímulos de comparación mostraron (por sujeto y el promedio del grupo) distintos componentes a distintas latencias respecto del inicio de la estimulación y con diferencias topográficas en el cuero cabelludo. En los electrodos occipitales (O1 y O2), a partir de los 80 mseg. se observa un complejo P1-N1-P2 con positividad máxima en 150 mseg. de morfología espigada. El campo eléctrico de estos componentes se extiende en los electrodos vecinos de la región posterior del encéfalo. En el electrodo frontal medial (Fz), se observa un componente negativo con latencia en 185 mseg., correspondiente al componente N200 (N2) por localización en la cabeza. Este componente se observa también en forma bilateral en los electrodos de las regiones prefrontales, temporales, centrales y parietales. En el mismo electrodo frontal medial (y en el central medial), puede también verse un componente positivo lento que comienza alrededor de los 350 mseg., alcanza el acmé alrededor de los 430 mseg. y termina alrededor de los 500 mseg. distinguiéndose por este curso temporal del que se describe a continuación. Finalmente, en el electrodo parietal medial (Pz) se observa un componente positivo con morfología de onda lenta, con inicio alrededor de los 380 mseg, máxima amplitud alrededor de los 500 mseg., extendiéndose hasta los 600 mseg. Este componente se observó también, aunque de menor amplitud, en regiones ténporo parietales (T5, T6, P3, P4).

De acuerdo con la interpretación cognitiva clásica, la sucesión temporal de los diferentes componentes y su distribución topográfica reflejarían las diferentes etapas

del procesamiento de la información, que incluyen la codificación y representación de los estímulos visuales, la clasificación del estímulo, la toma de decisión y la selección de respuesta. Frente a esto, el enfoque biocomportamental propondría establecer correlaciones entre los diferentes componentes y 1) las propiedades físicas de los estímulos 2) las asociaciones establecidas por aprendizaje 3) la ejecución de la respuesta; pero sin inferir que los diferentes componentes son el producto de un procesamiento serial modular que involucra la manipulación de diferentes representaciones.

2.4. Comparación de clases perceptuales y clases de equivalencia mediante potenciales relacionados con eventos

En un estudio de Yorio y cols. (2006), luego de entrenar a 12 sujetos en forma similar al estudio anterior, se realizó un registro de PREs durante una tarea en la cual los sujetos debían clasificar pares de estímulos sucesivos como "idénticos", "relacionados por equivalencia" (cuando se presentaban estímulos vinculados por las relaciones simétrica y transitiva combinadas: $C_i \rightarrow A_i$) o "no relacionados" (cuando los estímulos pertenecían a clases diferentes).

A nivel comportamental, se obtuvieron tiempos de reacción menores y porcentajes de aciertos significativamente mayores para los pares de estímulos idénticos, mientras que no se encontraron diferencias significativas entre los estímulos relacionados y no relacionados. Estos resultados indicarían una menor demanda cognitiva para el procesamiento de la relación de identidad, tal como se ha reportado previamente (Dickins y cols, 2005).

A nivel electrofisiológico, se observó un componente positivo tardío análogo a la onda P300, que se extiende de los 300 a los 800 milisegundos (ver figura 4). La magnitud y el curso temporal del componente fueron diferentes según el tipo de relación entre los estímulos presentados, lo cual implicaría diferencias a nivel del procesamiento de dichas relaciones. Concretamente, se obtuvieron positivities de mayor amplitud en los ensayos de estímulos relacionados por equivalencia. Estos resultados son consistentes con los trabajos antes mencionados y sugieren que el componente correlaciona con la categorización de los estímulos en clases de equivalencia. En una revisión reciente (Nieuwenhuis, Aston Jones y Cohen, 2005), se ha propuesto que el componente P300 reflejaría la actividad fásica noradrenérgica del Locus Coeruleus, ante la detección de estímulos target (blanco) en un experimento. Esta hipótesis nos permitiría interpretar nuestros resultados de la siguiente manera: los pares de estímulos relacionados por equivalencia fueron clasificados por los sujetos como estímulos target o relevantes, porque pertenecen a una categoría aprendida por el sujeto. En consecuencia, se produjo una mayor actividad fásica a nivel del Locus Coeruleus, reflejada en la mayor amplitud de la onda P300 registrada en estos ensayos. De acuerdo con otra interpretación acerca de la significación funcional del P300, este componente podría corresponder a una hiperpolarización generada por proyecciones inhibitorias sobre estructuras corticales involucradas en la evaluación de los estímulos y la selección de la respuesta (Kotchoubey, 2005). Según

esta hipótesis, cuando los estímulos percibidos son equivalentes, concluye la expectativa del sujeto y la activación cortical disminuye rápidamente, ante lo cual se observa una mayor positividad del componente. Por el contrario, cuando los estímulos no son equivalentes, la activación perdura y se extiende para favorecer una mayor exploración del contexto, lo cual se traduce en la persistencia de despolarización cortical que se expresa en la menor positividad registrada en estos ensayos. Ambas interpretaciones pueden ser complementarias.

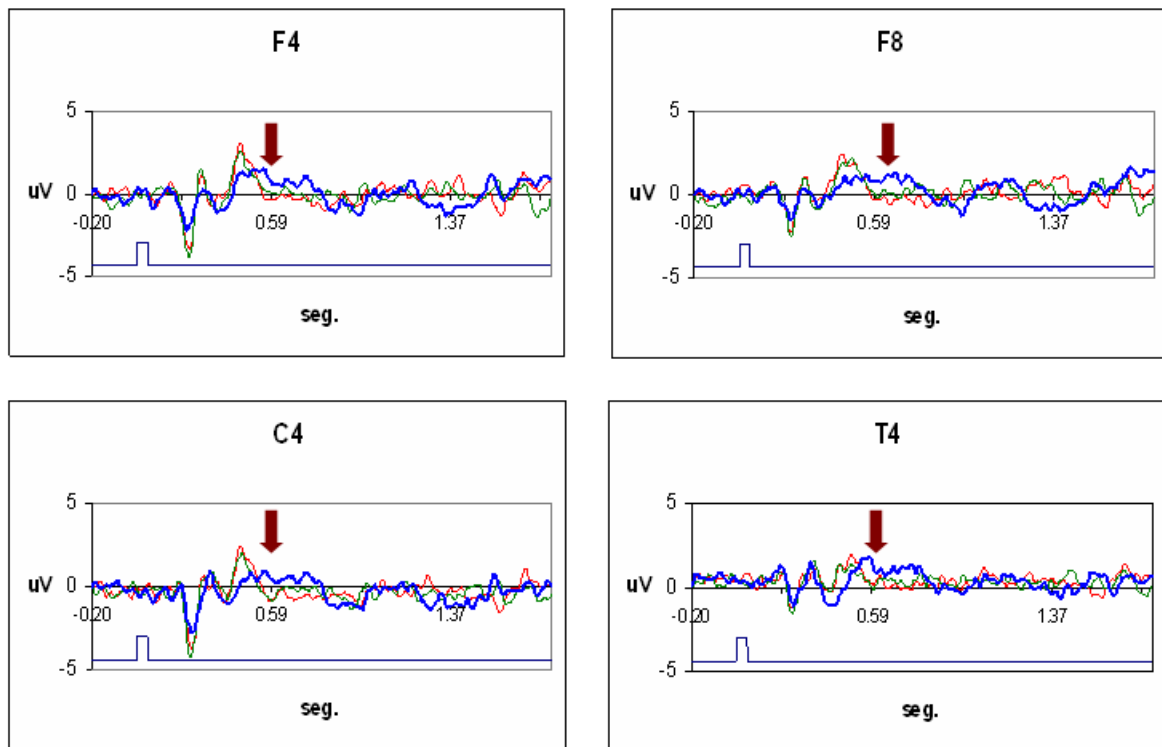


Gráfico del componente positivo tardío encontrado en cada condición experimental, en los canales: F4 (frontal derecho), F8 (temporal anterior derecho), C4 (central derecho) T4 (temporal medio derecho). La magnitud y el curso temporal de la onda varían según el tipo de relación entre los pares de estímulos.

Figura 4. Registro de PREs en un experimento de clases de equivalencia (Yorio, 2006)

3. Aportes del paradigma de las clases de equivalencia al campo de la neuropsicología

3.1. Aprendizaje de relaciones de equivalencia en sujetos con deterioro cognitivo

En el año 1971, Sidman, trabajando en el servicio de neurología del Hospital General de Massachusetts junto a Addams y Geshwind, utilizó el procedimiento de emparejamiento con la muestra para enseñar a un sujeto adulto con retardo mental severo a establecer correspondencias entre 20 palabras expresadas en forma oral y escrita y sus referentes en imágenes. Inicialmente, el paciente era incapaz de aparear las palabras escritas con las imágenes, así como de seleccionar la palabra escrita correspondiente en respuesta a la palabra hablada. No obstante, sí podía elegir las figuras al ser nombradas oralmente y mencionar el nombre de la mayoría de las imágenes. En la fase de entrenamiento, se le enseñó a relacionar palabras expresadas en forma oral y escrita, reforzando las elecciones correctas. Finalizado este aprendizaje, el sujeto demostró ser capaz de emparejar todas las palabras escritas con sus correspondientes imágenes y de leer en voz alta la mayoría de las palabras. Es decir, que el sujeto aprendió más de lo que fue directamente entrenado, la relación voz – escritura dio lugar a nuevas relaciones: escritura – imagen y escritura – voz.

A pesar de que las investigaciones iniciales de Sidman se realizaran en sujetos con retraso mental severo o moderado, el número de sujetos y trabajos realizados con esta población a lo largo de los últimos 35 años ha sido relativamente inferior a los estudios con sujetos normales, adultos o en desarrollo. La evidencia sugiere que sujetos con retraso mental moderado, y aún severo, son capaces de establecer clases de equivalencia a pesar de sus limitaciones verbales, si bien requieren un mayor entrenamiento que los sujetos sanos (O'Donnell y Saunders, 2003).

Otra de las poblaciones crecientemente estudiada son los sujetos con trastornos del espectro autista. Por ejemplo, en un trabajo de Eikeseth y Smith (1992) se encontró que niños preescolares diagnosticados con autismo fueron incapaces de formar clases de equivalencia, incluso con pocos estímulos. Sin embargo, esta dificultad se superaba cuando se les enseñaba a asignar un nombre común a los estímulos de cada clase. Otro estudio (Maguire, Stromer, Mackay y Demis, 1994) comparó el desempeño de niños y adultos autistas, verificando en ambos grupos el aprendizaje de relaciones de equivalencia.

Procedimientos similares a los Sidman han sido utilizados en pacientes con injuria cerebral, aunque las investigaciones realizadas en esta línea son aún relativamente escasas. En el estudio de Cowley y Green (1992) se entrenó con éxito a 3 pacientes (dos con lesión frontal focalizada y uno con lesiones difusas extensas) para asociar el nombre de sus terapeutas expresado en forma oral y escrita con su imagen correspondiente. En otro estudio (Guercio, Schroeder y Rehfeldt, 2004) se emplearon procedimientos de equivalencia en sujetos con injuria cerebral que mostraban dificultad para nombrar y aparear imágenes de emociones básicas. Una vez alcanzados los criterios de equivalencia, los sujetos mejoraron significativamente

su desempeño en la tarea, siendo capaces de transferir el aprendizaje a nuevos estímulos.

3.2. Potenciales aplicaciones en programas de rehabilitación cognitiva

Desde un punto de vista práctico, el estudio de las relaciones de equivalencia en poblaciones con alteraciones del desarrollo resulta relevante por diversas razones. En primer lugar, dado que el entrenamiento para formar clases de equivalencia emplea mecanismos básicos de refuerzo para el aprendizaje, esta técnica puede constituir una herramienta viable para la enseñanza cuando otros métodos se ven impedidos por las limitaciones propias de la patología (por ejemplo, por la ausencia o deterioro de habilidades verbales). Además, las relaciones no entrenadas, que se establecen espontáneamente entre los estímulos de una clase de equivalencia, son proporcionalmente más numerosas que las relaciones entrenadas. Esto es particularmente útil en el caso de los sujetos con discapacidades del desarrollo, en los que la generalización se ve dificultada y el aprendizaje muchas veces no excede a lo explícitamente entrenado. La estabilidad de este tipo de aprendizajes en el tiempo constituye una ventaja adicional. En un estudio realizado por Green y Saunders (1990) con un sujeto con retraso mental leve se observó que luego de entrenar 16 relaciones condicionales entre 16 estímulos visuales y 2 estímulos auditivos, se obtuvieron un total de 112 relaciones emergentes jamás reforzadas. Estas relaciones demostraron conservarse en el tiempo en retests realizados 2 y 3 años más tarde, sin entrenamiento adicional de por medio. En sujetos con retraso mental moderado, estudios de seguimiento demostraron que el aprendizaje puede mantenerse hasta 3 y 4 meses, sin entrenamiento adicional.

Procedimientos derivados de la equivalencia se han empleado para facilitar la rápida adquisición de habilidades socialmente relevantes, como el deletreo, la lectura en voz alta, clasificación y seriación (Kennedy y Serna, 1995; Mackay, 1985; Sidman, 1971; Sidman y Kirk, 1974; Stoddard, Brown, Urlbert, Manoli y McIlvane, 1989; Stromer y Mackay, 1992) o habilidades monetarias (Trace, Cuvo y Riswell, 1977). Por ejemplo, en un estudio realizado por Lane y Critchfield (1998) se entrenó a dos sujetos con retraso mental moderado para categorizar letras y consonantes, consiguiéndose una performance superior al 90%, que se mantuvo 6 meses después del experimento sin entrenamiento adicional. En un trabajo de LeBlanc y cols. (2003) se le enseñó a dos niños autistas a relacionar los nombres de los estados de U.S.A con sus correspondientes capitales y ubicación en el mapa, demostrando las relaciones emergentes de equivalencia.

3.3. La investigación en pacientes con esclerosis múltiple (EM)

No existen, de acuerdo con la bibliografía disponible hasta el momento, investigaciones que hayan utilizado el procedimiento de relaciones de equivalencia por emparejamiento para la evaluación cognitiva en pacientes con Esclerosis

Múltiple, por lo que consideramos de interés estudiar este paradigma en pacientes diagnosticados con esta patología en un centro de atención de nuestro medio.

Los objetivos del estudio fueron: 1) Comparar el desempeño del aprendizaje de relaciones de equivalencia de los pacientes con el de sujetos normales. 2) Comparar el desempeño de pacientes con y sin déficit cognitivo. 3) Correlacionar diferentes medidas del protocolo de equivalencias con los puntajes obtenidos en tests estandarizados de evaluación neuropsicológica.

La población experimental estuvo constituida por 12 pacientes de ambos sexos con EM en la forma clínica de recaída – remisión. El grupo control consistió en 72 sujetos adultos sanos. Los pacientes fueron evaluados con una batería neuropsicológica que incluyó: Test de Aprendizaje Verbal de California (CVLT), Trail making A y B, subtest Span directo, inverso y Dígito Símbolo del WAIS, Fluencia Verbal semántica y fonológica, Trail Making A y B, PASAT, Test de ordenamiento de cartas de Wisconsin (WCST), test 7/24 de memoria visual, Test Selectivo de Memoria (TMS), Test Weschler de Memoria Lógica (WMS – R) y test de Vocabulario de Boston. Se administró además el inventario de depresión de Beck y la escala EDSS. Se verificó el patrón neurocognitivo esperable en sujetos con EM: deterioro mnésico y disejecutivo. Tomando como criterio un puntaje inferior en 2 desvíos a la media poblacional en 2 o más pruebas, 9 de los 12 sujetos presentaron deterioro cognitivo. Ninguno de los sujetos obtuvo un puntaje de depresión clínicamente significativo.

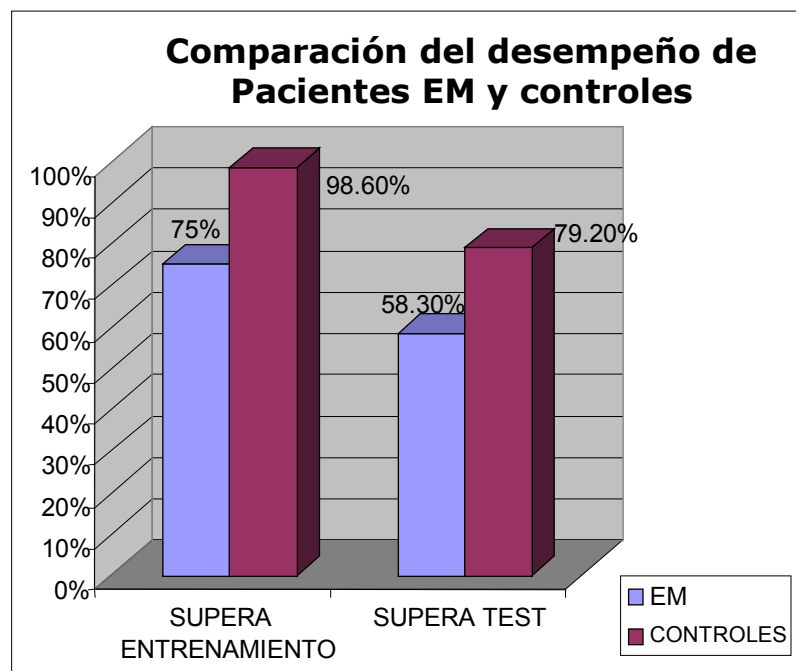


Figura 5. Comparación del desempeño entre pacientes con EM y sujetos controles (Yorio y cols., 2006)

En la fase de entrenamiento se utilizó el procedimiento de emparejamiento para formar dos clases de equivalencia de tres estímulos visuales cada una. En la fase de prueba, se testearon en bloques separados las propiedades de identidad, simetría y transitividad. Los resultados mostraron que 3 de 12 (25%) pacientes no superaron la fase de entrenamiento y 5 de 12 (41.7%) fracasaron en la comprobación de las propiedades de la equivalencia. En contraste, sólo uno de los controles (1.4%) fracasó en el entrenamiento y 35 (21.8%) fueron incapaces de verificar las propiedades emergentes. Por lo tanto, la presencia de EM produjo un deterioro significativo en la posibilidad de establecer este aprendizaje.

Al comparar los pacientes con y sin deterioro cognitivo, se observó que todos los que carecían de deterioro significativo superaron las fases de entrenamiento y prueba, mientras que de los 9 con deterioro, 6 adquirieron las relaciones entrenadas y 4 pudieron comprobar las propiedades de equivalencia. (Ver figura 5).

Las correlaciones con las pruebas neuropsicológicas fueron en su mayoría elevadas (en general, por encima de 0.7) y altamente significativas. Los test que más fuertemente se vincularon al porcentaje de aciertos y los tiempos de reacción en la fase de prueba fueron los de función ejecutiva, memoria visual y verbal. Los puntajes de correlación más altos se encontraron en: categorías completas del WCST (.88), span directo (.91) y test de vocabulario de Boston (.90). Este último es de especial interés, dado que señala el efecto facilitador del lenguaje en la formación de clases de equivalencia, ampliamente mencionado en la literatura (Horne y Lowe, 1996, 1999).

Se realizaron análisis de varianza para determinar si los pacientes que adquirieron las clases de equivalencia tuvieron un desempeño significativamente superior en alguna de las pruebas de la batería. Se comprobó que los pacientes que superaron ambas fases del experimento (relaciones entrenadas y derivadas) tuvieron mayores puntajes en pruebas de función ejecutiva, atención, memoria verbal y memoria lógica. La superación del entrenamiento se asoció diferencialmente con un mejor desempeño en memoria visual y fluencia fonológica, mientras que la comprobación de equivalencia se asoció en forma exclusiva con un mejor desempeño en lenguaje (test de Boston).

En conclusión, los resultados del experimento mostraron que la adquisición de relaciones de equivalencia se vio afectada en los pacientes con EM respecto de los sujetos sanos. Además, se observó que el desempeño en la tarea fue sensible a la presencia de deterioro cognitivo en el grupo EM. No obstante, se requieren estudios con mayor cantidad de sujetos para verificar estas tendencias. El análisis estadístico señaló la participación de las funciones ejecutivas, atencionales y mnésicas de los pacientes en la formación de clases de equivalencia, verificando además el efecto facilitador del lenguaje.

4. Conclusiones

El enfoque biocomportamental aquí presentado constituye una alternativa válida a las explicaciones clásicas representacionistas de la psicología cognitiva, basadas en

un enfoque de tipo inferencial. Dicha alternativa consiste en combinar los métodos y constructos teóricos del análisis experimental del comportamiento con los procedimientos y técnicas del campo de las neurociencias.

Aunque no haya sido posible hasta el momento formular una explicación acabada de la categorización en términos de relaciones ambiente – conducta y cambios fisiológicos concomitantes, el paradigma de las clases de equivalencia constituye un avance sustancial. Investigaciones en humanos con técnicas que provienen de las neurociencias indican patrones de actividad cerebral asociados a la constitución de clases de equivalencia que son similares a los observados en diferentes tareas experimentales de categorización semántica. Estos resultados apoyan la idea de un posible vínculo entre la capacidad de formar clases de equivalencia y otras formas de categorización, como las categorías del lenguaje. Los estudios utilizando clases de equivalencia en diferentes poblaciones de pacientes en el campo de la neuropsicología han aportado información sobre los efectos de distintas alteraciones neurológicas sobre la capacidad de categorización. El desempeño en las pruebas de equivalencia podría ser sensible a diagnósticos diferenciales dentro de este rango de patologías, posibilidad que sin embargo no ha sido suficiente estudiada hasta el momento. Por último, se ha mencionado el potencial terapéutico del paradigma de clases de equivalencia para la rehabilitación. Estas investigaciones sugieren que la correspondencia de fenómenos en los niveles comportamental y neurobiológico permitirían una descripción integral de la actividad cognitiva durante el comportamiento conceptual. Los aspectos neurofisiológicos y neuropsicológicos de las clases de equivalencia aquí mencionados podrían ser entonces de utilidad para el estudio del aprendizaje de categorías.

Bibliografía

Achiron A, Polliack M., Rao S, Lavie M, Appelboim N, Harel Y. (2005). Cognitive pattern and progression in multiple sclerosis: construction and validation of percentile curves. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*, 76:744-749.

Ashby F.G., Maddox T.W. (2005). Human category learning. *Annual Reviews of Psychology*, 56: 149-178.

Barnes-Holmes D., Staunton C., et al. (2005). Derived stimulus relations, semantic priming, and event-related potentials: testing a behavioral theory of semantic networks. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 84: 37-84.

Brady, N. C., & McLean, L. K. (2000). Emergent symbolic relations in speakers and nonspeakers. *Research in Developmental Disabilities*, 21, 197–214.

Bobholz J, Rao S. (2003). Cognitive dysfunction in multiple sclerosis: a review of recent developments. *Current Opinion in Neurology*, 16:283-288.

Catania A.C. (1994). *"Learning"* (IVth Ed.). Prentice Hall: New Jersey.

- Cáceres F., Vanotti S, Gold L., Rao S. (2003). Reconem Work group. The Reconem Study: cognitive impairment in Multiple Sclerosis. A National Survey in Argentina. *Neurology*;60 (suppl 1):A 54. Abstract.
- Deutsch C.K. Oross, S.P.L., Di Fiore A.W., McIlvane W.J. (2000). Measuring brain activity correlates of behavior: A methodological overview. *Experimental Analysis of Human Behavior Bulletin*, 18: 36-42.
- Dickins D.W. (2005). On aims and methods in the neuroimaging of derived relations. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 84, 453–483.
- Dickins D.W., Singh K.D., et al., (2001) An fMRI study of stimulus equivalence, *Neuroreport*, 12: 405-411.
- Deutsch C.K. Oross, S.P.L., Di Fiore A.W., McIlvane W.J. (2000). Measuring brain activity correlates of behavior: A methodological overview. *Experimental Analysis of Human Behavior Bulletin*, 18: 36-42.
- Donahoe J.W., Palmer D.C. (1994). *Learning and Complex Behavior*. Allyn & Bacon: Boston.
- Eikeseth, S., Smith, T. (1992). The development of functional and equivalence classes in high functioning autistic children: the role of naming. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 58, 123-133
- Green G., Saunders R.R. (1998) Stimulus equivalence. En Lattal & Perone *Handbook of Research Methods in Human Operant Behavior*. Plenum Press. New York. Pa. 229-262.
- Guercio, J., Podolska-Schroeder, H., Rehfeldt, R., (2004) Using stimulus equivalence technology to teach emotion recognition to adults with acquired brain injury. *Brain Injuries*, 18, 593-601.
- Horne, P. J., Lowe, C. F. (1996). On the origins of naming and other symbolic behavior. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 65: 185-241.
- Keri, S. (2003). The cognitive Neuroscience of category learning. *Brain Research Reviews*, 43: 85-109.
- Kotchoubey, B. (2005) Event-related potentials, cognition, and behavior: A biological approach. *Neuroscience and biobehavioral reviews*.
- Leblanc, L., Caio, F., Cummings, A. (2003) The effects of three stimulus-equivalence testing conditions on emergent US geography relations of children diagnosed with autism. *Behavioural Interventions*, 18, 279–289
- Rao SM, Leo GJ, Ellington L, Nauertz T, Bernardin L, Unverzagt F. (1991). Cognitive dysfunction in multiple sclerosis. II. Impact on employment and social functioning. *Neurology*, 41:692-696.
- O'Donnell J., Saunders, K. (2003) Equivalence Relations in individuals with language limitations and mental retardation 2003. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 80, 131–157.

Sepulcre J., Vanotti S., Hernández R., Sandoval G., Cáceres F., Garcea O., Villoslada P. (2006). Cognitive impairment in patients with multiple sclerosis using the Brief Repeatable Battery-Neuropsychological test. *Multiple Sclerosis*; 12:187-195.

Sidman M. (1994). *Equivalence relations and behavior: A research story*. Author's Cooperative Inc. Publishers. Boston.

Sidman, M. y Tailby, W. (1982). Conditional discrimination vs. matching to sample: An expansion of the testing paradigm. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 37, 5-22.

Sidman M. (2000). Equivalence relations and the reinforcement contingency. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 74: 127–146.

Tabullo A., Pérez Leguizamón P., Sánchez F., Galeano P., Segura E.T. y Yorio A. (2007). Potenciales cerebrales relacionados con categorización lógica en humanos: estudio descriptivo y planteos experimentales. *XIV Anuario de Investigaciones de la Facultad de Psicología*. (Trabajo aceptado para su publicación).

Tonneau F. (2001). Equivalence Relations: A Critical Analysis. *European Journal of Behavior Analysis*, 2: 1-33.

Vanotti S., Cores, V., Orellano A., Tabullo, A., Galeano, P., Marro, C., Yorio, A., Fernández Liguori, N., Sandoval, G., Villa, A., Garcea, O. “Alteraciones de la Función ejecutiva y la formación de conceptos. Nueva evaluación neuropsicológica en EM (póster)”. IV Congreso del Comité Latinoamericano para el Tratamiento e Investigación en Esclerosis Múltiple. 28/6 – 1/7, 2006 / Isla de Margarita, Venezuela.

Vanotti S., Cores, V., Orellano A., Tabullo, A., Galeano, P., Marro, C., Yorio, A., Fernández Liguori, N., Sandoval, G., Villa, A., Garcea, O. “Categorization and learning in multiple sclerosis patients. New neuropsychological assessment instrument” (poster) 22nd Congress of the European Committee for Treatment and Research in Multiple Sclerosis September 27–30, 2006 / Madrid, Spain

Wilson K.M., Milan M.A. (1995). Age differences in the formation of equivalence classes. *Journal of Gerontology: Psychological Sciences*, 50B: 212-218.

Zentall T.R., Galizio M., Critchfield T.S. (2002). Categorization, concept learning, and behavior analysis: an introduction. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 78: 237–248.