



**UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA**

---

**Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias  
División de Ciencias Biológicas  
Departamento de Ciencias Ambientales**

**INSTITUTO DE NEUROCIENCIAS**

**Efectos de las instrucciones sobre el  
control discriminativo del ritmo sensorio  
motor y de la banda de theta**

Tesis

que para obtener el grado de

**MAESTRO EN CIENCIA DEL COMPORTAMIENTO  
(OPCIÓN NEUROCIENCIA)**

presenta

**Juanpablo Saracho Vargas**

Comité tutorial

**Dr. Félix Héctor Martínez Sánchez (Director)**

Dr. Daniel Zarabozo E. de Rivera

Mtro. Sergio Meneses Ortega

Dr. Andrés González Garrido

Dra. Areceli Sanz Martín

## Resumen

La función de las instrucciones para facilitar, mantener y modificar la conducta de los individuos se ha explorado ampliamente y en una gran variedad de tareas. Las instrucciones le informan al sujeto la relación entre los estímulos o el arreglo contingencial al que se va a enfrentar. El uso de la neuroretroalimentación se ha empleado tanto en investigación básica como en el trabajo clínico, sin embargo ante la diversidad de protocolos e incluso la ausencia de las instrucciones en sus procedimientos ha propiciado una falta rigor experimental. En el presente estudio se utilizaron dos tipos de instrucciones, generales y específicas, para analizar su efecto en la adquisición del control de dos frecuencias: el ritmo sensoriomotor (SMR) y Theta. Doce participantes fueron divididos en dos grupos según el tipo de instrucción: generales y específicas. El control instruccional demostró ser una variable importante en el procedimiento de la neuroretroalimentación al favorecer la adquisición del control discriminativo de SMR. En el grupo de instrucciones específicas se encontraron diferencias significativas entre el inicio y el final del entrenamiento, efecto que no presentó en el grupo de instrucciones generales. Además la diferencia entre los grupos también fue significativa. Contrario a lo que se esperaba el control instruccional en el entrenamiento de theta no presentó tales diferencias. Se sugiere que una falta de precisión en las instrucciones utilizadas en el entrenamiento de theta tuvo como consecuencia la falta del control discriminativo.

Palabras clave: Neuroretroalimentación, ritmo sensoriomotor, theta, control instruccional, control discriminativo, humanos.

## Abstract

The use of neurofeedback technique has been used both in basic research and clinical work, but given the diversity of protocols and even the absence of instructions in their procedures has led to lack experimental rigor. The role of instructions to facilitate, maintain and modify the behavior of individuals in a variety of tasks has been widely explored. The instructions provide information to the subject about the relationship between stimuli or set of contingencies present in a task. In this study, we used two types of instructions, general and specific, to analyze its effect on the acquisition of control of two frequencies: the sensorimotor rhythm (SMR) and Theta. Twelve participants were divided into two groups according to the type of instruction: General or specific. Instructional control proved to be an important variable in the process of neurofeedback by encouraging the acquisition of discriminative control of SMR. For specific instructions group were significant differences between the initial session and final session of training, this effect was not present in the group of general instructions. Furthermore, the difference between groups was also significant. Contrary to expected instructional control did not show such differences in the training of theta. It is suggested that a lack of precision in the instructions used in the theta training resulted in the lack of discriminative control.

Keywords: Neurofeedback, sensorimotor rhythm, theta, instructional control, discriminative control, human.

## ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Control instruccional	2
1.2 Biorretroalimentación	12
1.3 Neurorretroalimentación y Ritmo Sensoriomotor	16
1.4 Neurorretroalimentación y Theta	23
2. PRUEBAS PRELIMINARES	25
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	27
3.1 Hipótesis	28
3.2 Objetivo	28
4. MÉTODO	
4.1 Sujetos	29
4.2 Aparatos e instrumentos	29
4.3 Diseño experimental	30
4.4 Procedimiento	31
5. RESULTADOS	33
6. DISCUSIÓN	53
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	58

## **Introducción**

La biorretroalimentación es el uso de instrumentos que permiten observar los procesos psicofisiológicos los cuales normalmente no son conscientes y que pueden quedar bajo control voluntario de una persona (Fuller, 1984). En un procedimiento típico, la persona es entrenada a modificar diferentes variables fisiológicas que están relacionadas con los síntomas de diversas patologías (i.e. la relajación de los músculos pericraneales y trapecios para el tratamiento de las cefaleas tensionales; el aumento de la temperatura periférica de la piel para el tratamiento de migrañas). La biorretroalimentación electroencefalográfica o neuroretroalimentación se ha convertido en una de la modalidades más exitosas para el tratamiento de la epilepsia (Serman 2000; Serman y MacDonald, 1978; Serman, MacDonald y Stone, 1974); o del trastorno de déficit de atención con hiperactividad (Demos 2005; Kropotov 2004; Lubar 2003; Monastra 2003; Thompson y Thompson 1998).

De acuerdo con Serman y Egner (2006), uno de los puntos menos fuertes en el uso de neuroretroalimentación es la falta de consenso sobre procedimientos estandarizados, tanto en el área clínica como en la investigación básica. Por ejemplo, una de las fuentes de variabilidad en los procedimientos es la falta de consistencia en el tipo de instrucciones que se proporcionan a las personas que son expuestas a las técnicas de neuroretroalimentación. La ausencia de un control instruccional adecuado podría contribuir a la diversidad de formas de implementación de dichos procedimientos. Existen estudios publicados que incluso no reportan las instrucciones proporcionadas a los participantes, (i.e. Kotchoubey y cols. 1999; Cox y cols. 1998; Thompson y Thompson 1998; Monastra 2005).

Recientemente, Schwartz y Schwartz (2003) han sistematizado siete fases o niveles de información en el entrenamiento de la biorretroalimentación destacando la importancia de esta variable relacionada con las instrucciones. Por otro lado, Furedy (1987) ha propuesto que sólo con mostrar una señal asociada a una variable fisiológica y decir que se esta registrando proporciona la suficiente información a los sujetos para lograr el entrenamiento. Ante esta variedad metodológica en el uso de las instrucciones parece necesario realizar investigaciones que aporten información más precisa sobre los efectos diferenciales de las instrucciones en el entrenamiento del control de una variable psicofisiológica (por ejemplo, ritmo sensoriomotor).

## **Control Instruccional**

El control instruccional es un determinante de la conducta humana cuyas influencias pueden ser investigadas de una manera sistemática. Cuando una misma instrucción puede ejercer control sobre ejecuciones distintas en diferentes sujetos, o bien, cuando la misma instrucción en momentos diferentes es seguida de ejecuciones distintas por el mismo sujeto, son ejemplos que ilustran la complejidad instruccional. La investigación de los efectos de las instrucciones es un paso dirigido hacia la identificación de las variables que ejercen control sobre la conducta humana (Martínez, Ortiz y González, 2007). El control instruccional parece depender de la interacción entre variables tales como: la historia individual con la instrucción específica y la historia de reforzamiento del seguimiento instruccional (Martínez y Ribes, 1996).

En un procedimiento típico de reforzamiento en un laboratorio cuando se trabaja con animales no humanos, se priva a los sujetos de comida y se establece la conducta que se va reforzar, presionar una palanca, picotear un botón, etc. (Baron y Galizio (1983). De acuerdo con estos autores el control de estas variables no se aplica en el estudio con humanos, lo que vuelve más complejo el análisis de comportamiento. Se ha observado que el ser humano presenta más variabilidad ante los programas de reforzamiento en comparación con otros animales. Esta variabilidad genera nuevos problemas y oportunidades que no se registrarían en un trabajo típico con animales.

Una de las variables que juega uno de los roles mas importantes en el estudio del comportamiento humano es el uso de las instrucciones. En un laboratorio no siempre se puede eximir el intercambio verbal cuando se trabaja con humanos. Incluso, el hecho de que la persona debe firmar su consentimiento informado acerca de los riesgos y beneficios que se llevan a cabo durante el experimento ya es una variable que puede ser

analizada. En estudios en los que se utilizan programas de reforzamiento con humanos, usualmente se han encontrado variaciones de los patrones de respuesta a los obtenidos con animales no humanos; tales variaciones suelen atribuirse, bien a la falta de control experimental o bien, al efecto de variables verbales como la instrucción y la historia de seguimiento de instrucciones (Harzem, Lowe y Bagshaw, 1978)

Ader y Tatum (1961) realizaron uno de los primeros trabajos en lo que se reportó que la falta de instrucciones causaba una gran variabilidad en los resultados registrados, esto fue durante una tarea de evitación de descargas eléctricas. Participaron 36 hombres, a los que se les colocaron unos electrodos en las piernas y la única instrucción que se les dio fue que no se podían mover ni hablar durante el experimento. Fueron expuestos a intervalos de cinco, diez y veinte segundos en los que se aplicaba una descarga eléctrica en la persona. Para evitar la descarga la persona tenía que apretar un botón rojo que se encontraba enfrente de ellos. La ejecución entre sujetos tuvo mucha variabilidad, sólo diecisiete personas lograron demorar las descargas, los otros diecinueve presentaron comportamientos erráticos, unos se levantaban y se iban del experimento, otros se quedaban sin hacer nada. Estos resultados desconcertaron a los investigadores puesto que todos los hallazgos en animales no humanos en el laboratorio no presentaban dicha variabilidad, tal vez por la imposibilidad de los animales de huir del experimento. Esta investigación ilustra la complejidad del trabajo con humanos y adquiere nuevos retos que no estaban dimensionados en el trabajo de laboratorio tradicional.

Kaufman, Baron, y Kopp (1966) analizaron como la información de las instrucciones podía ejercer un control tan fuerte como un programa de reforzamiento operante. Si las instrucciones describían una contingencia falsa los sujetos no lograban incrementar su tasa respuesta, y por lo tanto no obtenían dinero. En cambio si las

instrucciones informaban sobre las contingencias reales los sujetos lograban obtener un mayor número de reforzadores.

Baron, Kaufman y Stauber (1969) reportaron que si las instrucciones describían el tipo de reforzador y además describían las contingencias del programa operante, los participantes tenían una ejecución con una tasa de respuesta más alta y con menores periodos de latencia después de obtener el reforzador. En cambio, los participantes que no recibían las instrucciones presentaron una tasa de respuesta baja en el inicio del procedimiento y presentaron variabilidad durante las sesiones, además de periodos de latencia mas prolongados después recibir el reforzador. Estos resultados apoyaban la idea de que las instrucciones generan y mantienen y hacen más efectiva la repuesta operante de los sujetos.

En un estudio realizado por Catania, Shimoff y Matthews (1989) a cuatro estudiantes se les presentaron instrucciones en las que se describían las contingencias de un programa múltiple de razón aleatoria y de intervalo aleatorio, así como las tasas de respuesta apropiadas para cada programa. Al final del experimento, cada participante contestó una serie de preguntas relacionadas con la información de las instrucciones, con la finalidad de moldear las descripciones, si existían discrepancias los sujetos volvían a leer las instrucciones. Los resultados mostraron que las instrucciones controlaron la ejecución puesto que produjeron las tasas apropiadas para cada uno de los componentes del programa. En otro experimento, Catania, Shimoff y Matthews (1989) presentaron instrucciones que describían los programas de reforzamiento utilizados, pero se describía una ejecución inadecuada ante cada programa. Los resultados fueron inconsistentes, la mitad de los sujetos presentaron una ejecución controlada por las instrucciones y la otra mitad generó cambios durante su ejecución quedando su conducta operante bajo el control de las contingencias.



Baron y Galizio (1983) al estudiar el control instruccional y la diferencia entre las diferentes fuentes de control de la ejecución humana, encontraron que uno de los efectos más observados es que los sujetos humanos suelen mantener un tipo de ejecución a pesar del cambio de las contingencias. Dicho efecto fue denominado insensibilidad a las contingencias. Además, reportaron que el control instruccional puede generar un efecto importante en la conducta operante al grado de anular el efecto del programa de reforzamiento, esto llegó a ocurrir cuando la historia instruccional era opuesta al programa de reforzamiento.

Buskist y Miller (1981) realizaron un estudio en el que compararon la precisión instruccional y su efecto sobre el desempeño en varios programas de intervalo fijo (IF). Dieciséis estudiantes fueron expuestos a un entrenamiento inicial de por lo menos 6 sesiones en las cuales podían obtener un reforzador (dinero) de una máquina, el procedimiento era que 30s después de que un foco en la máquina se encendía podían abrir una puerta y tomar el reforzador. Cuando se reportó una estabilidad entre las respuestas de los sujetos se prosiguió a separarlos en cuatro grupos que se diferenciaban entre sí por la precisión en las instrucciones que se les dieron. Al Grupo "A" no se le dieron las instrucciones adicionales. A los otros grupos se les dio la instrucción con el procedimiento del entrenamiento anterior pero cambiaba el tiempo de respuesta una vez que encendía el foco (Grupo "B" 15s; Grupo "C" 30s; y, al Grupo "D" 60s). Todos los grupos fueron expuestos al programa IF30s, el mismo que se usó en el entrenamiento inicial. Los resultados del Grupo "B" mostraron que los sujetos instruidos para emitir una respuesta cada 15s respondieron después de varios ensayos con respuestas cada 30s aproximadamente, ajustando así su ejecución a la contingencia y no a lo instruido. De esta manera, se evidencia que las contingencias también pueden anular el efecto de las instrucciones si éstas contradicen directamente las contingencias presentes. En el Grupo

“D” se observó una ejecución ineficiente pero como las instrucciones no se contradecían con las contingencias, éstas continuaron afectando la ejecución del grupo. Se demostró que la sola disminución del reforzamiento no anula el control instruccional.

LeFrancois, Chase y Joyce (1988) estudiaron el efecto del aumento del rango de conductas instruidas sobre la ejecución ante programas novedosos para indagar acerca de la posible insensibilidad de la respuesta a las contingencias. Sus resultados mostraron que el desempeño de los sujetos se vio afectado por el entrenamiento en diversos programas de reforzamiento puesto que en la fase en donde se les daban instrucciones informando sobre conductas inadecuadas según el programa de reforzamiento, su control instruccional se desvaneció rápidamente durante los ensayos.

Joyce y Chase (1990) examinaron la relación entre variabilidad de la respuesta y sensibilidad a los cambios en las contingencias de reforzamiento. El experimento consistió en dos fases: en la primera fase se les dio un tipo de instrucción a cada grupo; en la segunda fase, dos de los grupos no recibían instrucciones y eran expuestos a un programa de reforzamiento diferente. En la primera fase a un grupo de sujetos se les dieron instrucciones completas indicando la respuesta esperada (presionar una tecla) y el criterio de logro de dicha respuesta para obtener el reforzador (presionar 40 veces la tecla para obtener un punto). Al otro grupo le presentaron instrucciones incompletas que omitían el criterio de logro de la respuesta requerido para obtener reforzamiento. Los resultados mostraron que los sujetos del grupo instruido lograron un criterio de estabilidad en el patrón de ejecución con altos puntajes durante la primera fase, sin embargo, mostraron poca variabilidad en el momento del cambio de programa de reforzamiento y fueron insensibles al cambio en las contingencias teniendo una pobre ejecución. Mientras que el responder de los grupos instruidos de forma incompleta fue

más variable en el momento del cambio del programa y fue sensible a la nueva contingencia.

Ribes y Rodríguez (2001) analizaron la correspondencia entre instrucciones, ejecución y auto-descripciones en tareas de discriminación condicional. Estos autores mencionan tres posibles procesos de discriminación en humanos: 1) aprendizaje a través de instrucciones, con una posible insensibilidad a las consecuencias; 2) aprendizaje a través de retroalimentación, con una inhabilidad de los sujetos para describir su propia conducta; y, 3) una genuina conducta gobernada por reglas consistente de la ejecución exitosa de la tarea y de la conducta verbal explícita que describe las contingencias reales efectivas para dicha ejecución.

Martínez, Ortiz y González (2002) han mostrado que: a) el control instruccional será óptimo si las instrucciones corresponden con las consecuencias obtenidas, observándose una alta ejecución bajo instrucciones específicas a la tarea y una ejecución más baja sin instrucciones o bajo instrucciones inespecíficas; y, b) se atenuará el control instruccional si las instrucciones no corresponden con las consecuencias o no describen de manera específica la contingencia o la forma de operación adecuada bajo tal arreglo.

Las instrucciones pueden ser concebidas como un procedimiento verbal que proporciona información relevante para dirigir una práctica en una situación determinada. Las instrucciones pueden informar sobre estímulos, respuestas, consecuencias, requerimientos y varias relaciones entre estos factores (Martínez y Ribes, 1996). El uso de manipulaciones instruccionales en el estudio de la conducta humana puede ser visto como un equivalente paralelo a manipulaciones tales como la privación sensorial o el uso de fármacos en sujetos no humanos (Baron, Kaufman y Stauber, 1969).

Martínez y Tamayo (2005) realizaron dos experimentos en los cuales cuarenta estudiantes participaron en una tarea de control discriminativo (igualación de la muestra) En estos estudios analizaron las interacciones entre las contingencias, la precisión de las instrucciones y la historia instruccional. En el primer experimento formaron cuatro grupos de cinco estudiantes, estos grupos se diferenciaban entre si por la historia instruccional a la que fueron expuestos. El Grupo A tuvo instrucciones verdaderas seguidas por instrucciones falsas. El Grupo B tuvo instrucciones falsas seguidas por instrucciones verdaderas. El grupo C tuvo instrucciones verdaderas seguidas por instrucciones verdaderas. El grupo D instrucciones falsas seguidas por instrucciones falsas. El diseño experimental consistió en dos fases. La primera fase consistió de un entrenamiento de 12 sesiones de acuerdo con la historia instruccional de cada grupo. La segunda fase consistió de cuatro sesiones en donde hubo un cambio en la relación contingencial. Los resultados mostraron que en la primera fase los participantes que fueron expuestos a las instrucciones verdaderas obtuvieron el número más alto de respuestas correctas. En contraste, los sujetos expuestos a instrucciones falsas durante la primera fase tuvieron un mayor número de respuestas incorrectas y tuvieron una pobre adquisición, sugiriendo que el control instruccional sobrepasaba al control por las consecuencias.

Un dato contrario al esperado por los autores fue que los sujetos que tuvieron las instrucciones verdaderas en la segunda fase mostraron variabilidad en sus respuestas. En un análisis de las instrucciones en la segunda fase se observó que la instrucción presentó una ambigüedad generando la variabilidad en sus respuestas. En un segundo experimento replicaron el diseño del experimento 1 pero hicieron una corrección en las instrucciones de la segunda fase. Los resultados mostraron de los grupos expuestos a las instrucciones verdaderas en la segunda fase lograron de manera exitosa ejecutar sus

respuestas. Martínez y Tamayo (2005) argumentaron que la historia instruccional puede tener efectos diferenciales sobre tareas de discriminación bajo instrucciones nuevas. El control instruccional identificado en la primera fase de los dos experimentos muestra que los sujetos al ser expuestos a nuevas instrucciones tuvieron cambios consistentes en su ejecución durante la segunda fase. Estos mismos autores concluyeron que una condición necesaria para establecer el control instruccional es que el sujeto tenga un repertorio discriminativo que le permita diferenciar distintas situaciones ante las cuales debe responder en forma diferente.

### **Control Discriminativo**

Una característica importante de los organismos es su capacidad para poder diferenciar entre las diversas características del ambiente con el que interactúa. A la vez que es importante para su supervivencia el poder comportarse de maneras diferentes ante estímulos diferentes también es de suma relevancia que un organismo se comporte de forma similar ante estímulos similares. Esto es lo que se conoce como discriminación o control discriminativo y que ha sido definida como una respuesta diferencial ante una diversidad de estímulos. Para el caso humano, la capacidad de discriminación se demuestra por diferenciar entre dos o más cosas, permitiendo responder de forma diferente ante cada objeto distinto. Para realizar discriminaciones parece necesario contar con un historial particular. Este historial está dado por el desarrollo ontogénico del organismo, el cual puede ser analizado con base en los reforzadores que ha obtenido en sus interacciones específicas. Existen procedimientos sencillos que muestran el paradigma de la discriminación al tener sólo una clase respuesta pero en dos condiciones posibles, en una de las condiciones se refuerza la conducta y en otra se le extingue, después de varios ensayos se separa la fuerza de respuesta entre las condiciones (Millenson, 1967).

Reynolds (1961) realizó un estudio con pichones a los que entrenó para picotear una tecla cuando ésta se iluminaba y así recibir un pellet (bolita de comida). La tecla tenía dos figuras, un triángulo blanco dentro de círculo rojo. Para averiguar cual de estas dos figuras era el estímulo que controlaba el comportamiento instrumental los pichones fueron expuestos a varios ensayos en los que solo se presentaba una de estas figuras en la tecla para obtener reforzador. Los resultados fueron que uno de los pichones mostró un alto número de picotazos en presencia del triángulo blanco y no cuando se presentaba el círculo rojo. En cambio, otro pichón tuvo un alto número de picotazos en presencia del círculo rojo y no cuando se presentaba el triángulo blanco. Esto muestra como el comportamiento instrumental puede quedar bajo el control de un estímulo particular.

El estímulo que ejerce el control del comportamiento instrumental es demostrado en las variaciones de respuestas según la presencia de diferentes estímulos. Si un organismo responde de una manera en presencia de un estímulo, y de manera diferente en presencia de otro estímulo, se demuestra que el comportamiento instrumental ha quedado bajo el control de los estímulos. Esto es lo que se ha llamado discriminación de estímulos. El estímulo que llega a ejercer un control diferencial sobre la conducta se le denomina como estímulo discriminativo y a la conducta resultante como conducta discriminativa. La discriminación de estímulos y el control de estímulos son dos maneras de considerar el mismo fenómeno: uno no puede existir sin el otro. Si un organismo no discrimina mediante sus respuestas entre dos estímulos, su comportamiento no queda bajo el control de estos estímulos Reynolds (1961).

Identificar y diferenciar varios estímulos no es algo sencillo (Fetterman, 1996). Un estímulo puede ser definido de muchas maneras. Por ejemplo, varios objetos pueden ser considerados como un mismo estímulo si comparten su característica funcional

como sería el caso de una rueda, no importa si es de acero o de madera, es una rueda. Para algunos el como un organismo identifica y distingue varios estímulos es lo más importante que existe en psicología. Es problema es central cuando tratamos de analizar cual es el estímulo que controla el comportamiento instrumental (Stevens, 1951). La generalización de un estímulo puede ser descrita cuando un organismo responde de manera similar a dos o más estímulos.

En un estudio clásico, Guttman y Kalish (1956) realizaron una investigación demostrando la generalización del estímulo en conducta instrumental. Ellos trabajaron con palomas a las cuales se les dio un reforzador cada vez que picoteaban una tecla iluminada de color entre amarillo-naranja con una longitud de onda de 580 nanómetros. Después del entrenamiento las palomas fueron expuestas a un procedimiento en el cual el color de la tecla variaba y no se les daba reforzador si picaban en la presencia de cualquiera de ellos. Los resultados fueron que las palomas tuvieron un mayor número de picotazos cuando se les presentaba la tecla con la longitud de onda de 580 nanómetros, sin embargo cuando se les presentó la tecla iluminada con una longitud de onda de 570 ó 590 nanómetros tenían casi el mismo número de respuestas con respecto a la longitud de onda original. Cuando la longitud de onda tenía valores más extremos con respecto al original disminuía la frecuencia de picotazos. A la curva obtenida con el número de picotazos a al tecla ante los diferentes valores de longitud de onda se le llamó el gradiente de la generalización de estímulos.

El gradiente de la generalización de estímulos ha sido empleado para medir el control del estímulo porque provee información de que tan sensible es el comportamiento del organismo ante las variaciones particulares de algún aspecto en el ambiente. En este aspecto el gradiente de la generalización del estímulo proporciona información precisa de que tanto tiene que cambiar un estímulo, en este caso, los

nanómetros de la longitud de onda, para que las palomas tengan una respuesta diferenciada (Guttman y Kalish, 1956)

Una aproximación teórica alterna asume que el organismo trata el complejo de estímulos como algo integral, como una misma cosa, y no como algo dividido en distintas partes o elementos. Esta aproximación se conoce como configuración de los estímulos. Por ejemplo, el sonido de una orquesta puede ser considerado como un solo estímulo, sin embargo dicho sonido puede ser dividido por los diferentes instrumentos que conforman la orquesta y discriminar entre los diferentes instrumentos.

El control discriminativo ha servido también para analizar la función de las instrucciones en el control de la conducta humana compleja. Cerutti (1989) reportó que las instrucciones al describir con precisión las contingencias experimentales los sujetos lograban discriminar las relaciones entre los estímulos presentados en sus reportes verbales, de manera contraria las personas que sólo eran expuestas a las contingencias no lograban reportar ni discriminar las relaciones entre los estímulos.

En otro estudio, Okouchi (1999) observó que las historias de instrucción y de reforzamiento son importantes para determinar la función discriminativa de las instrucciones, esta fue su conclusión después de un experimento en el que cuatro sujetos fueron expuestos a un programa múltiple con dos componentes: un programa de Razón Fija (RF) y un programa de reforzamiento Diferencial de Tasas Bajas (DTB). Se esperaba que bajo el primer programa los sujetos respondieran con una tasa de respuestas alta mientras que ante el segundo programa respondieran con una tasa de respuesta baja. Los sujetos fueron instruidos de manera inversa según el programa de reforzamiento. En el componente de RF, los sujetos fueron instruidos para responder con lentitud, y en el componente DTB, los sujetos fueron instruidos para responder con rapidez. Los sujetos inicialmente respondieron de acuerdo con las instrucciones pero



posteriormente se ajustaron a las condiciones de los respectivos programas de reforzamiento. En un tercer programa de reforzamiento al que fueron expuestos los mismos sujetos se observó que la tasa de respuesta fue rápidamente efectiva al no seguir una nueva instrucción. Okouchi (1999) sugirió que las instrucciones de los dos primeros programas de reforzamiento al no corresponder con las contingencias generaron un efecto de transferencia ante las nuevas instrucciones del tercer programa.

De acuerdo con la literatura revisada, podemos asumir que tanto el control discriminativo como el control instruccional juegan papel relevante en el control de la conducta humana compleja. En lo que sigue del presente escrito, veremos como estos fenómenos y procedimientos pueden extender su importancia en la comprensión del comportamiento humano. En particular en las áreas relacionadas con la biorretroalimentación y el control de cierta actividad cerebral mediante técnicas y conceptos derivados del condicionamiento clásico y operante.

### **Biorretroalimentación**

La biorretroalimentación se puede definir como el conjunto de procedimientos cuyo fin es posibilitar que el sujeto, a partir de información visual o auditiva sobre la variable fisiológica de interés, proporcionada de manera inmediata, puntual, constante y precisa, pueda modificar sus valores de manera voluntaria (Olivares, Sánchez y Alcázar, 1998). El supuesto básico es que con esta información la persona es capaz de controlar y manipular respuestas fisiológicas tales como la respuesta galvánica de la piel, la vasoconstricción periférica, la tasa cardíaca, entre otras de carácter autónomo. Estas respuestas son controladas por el Sistema Nervioso Autónomo que paradójicamente ha sido considerado como un sistema que no era susceptible del control voluntario debido a

que su actividad no formaba parte de la conciencia del sujeto por estar por debajo de su umbral perceptual y por ende fuera de su control.

Actualmente se sabe que estas respuestas son susceptibles del control voluntario gracias al aprendizaje y existen evidencias experimentales (i.e., el condicionamiento operante, Schwartz y Olson, 2003). La potencia de esta estrategia experimental ha sido demostrada aún bajo condiciones extremas. Estudios como los de DiCara y Miller (1969) quienes aplicaban curare a los roedores mostraron que aún con la parálisis del sistema muscular esquelético podían modificar sus respuestas viscerales, ilustrando lo robusto de esta estrategia experimental. También se han reportado demostraciones de que el uso de la biorretroalimentación es eficaz para establecer el control voluntario y la modificación de funciones corporales específicas relacionadas con ciertos padecimientos, por ejemplo, cefaleas tensionales (Andrasik y Walch, 2002); el control voluntario de la vasoconstricción periférica para regular la temperatura corporal (Blanchard y Andrasik, 1987) y el control de irregularidades del ritmo cardiaco, (Kleiger, Millar, Bigger, y Moss, 1987; Berntson, 1997).

La biorretroalimentación también se ha aplicado exitosamente en situaciones terapéuticas con personas que han sufrido una lesión neuromuscular, incluida la imposibilidad de mover una extremidad. Bajo la modalidad de electromiografía superficial las personas gradualmente aprenden a controlar el músculo lesionado generando una reducción de tiempo en su terapia de rehabilitación. (Basmajian, Kukulka, Narayan, y Takebe, 1975; Brundym 1982; Binder-MacLeod, 1983; citados en Schwatz y Olson 2003).

Para cualquier modalidad de biorretroalimentación la información que se proporciona a los sujetos (instrucciones) tiene un papel central. Schwartz y Schwartz

(2003) proponen siete aspectos relacionados con la información que se proporciona para el entrenamiento de una persona en biorretroalimentación:

- 1) La presentación de la señal. Se destaca la importancia de escoger cuál es el mejor despliegue de la señal, puesto que debe contener la suficiente información para facilitar a la persona a hacer una discriminación de los cambios producidos, y a su vez, no ser un factor de distracción o que tenga elementos que induzcan ansiedad.
- 2) Explicación de la señal. Se informa a la persona qué representa cada señal (p. ej., *la línea roja representa tu temperatura, la línea verde tu sudoración, etc.*). En este nivel la persona puede aprender por ensayo y error.
- 3) Explicación de la señal con relación a la fisiología. El terapeuta o experimentador puede instruir al paciente en cuales son los procesos fisiológicos que se relacionan con la información desplegada (p. ej., *si puede mantener la barra azul debajo de la línea roja, usted estará relajando su músculo*).
- 4) Explicación de la señal con relación a los síntomas (p. ej., *mantener la barra azul por debajo de la línea roja significa que sus músculos están relajados, si hace este tipo de ejercicios durante el día puede evitar que se acumule tensión y le duela la cabeza...*).
- 5) Sugerencias. El experimentador o terapeuta da instrucciones o prescripciones que le ayudan al paciente a alcanzar las metas establecidas, esto puede ser mediante ejercicios de respiración profunda, imaginación dirigida, etc.
- 6) Información para el terapeuta o experimentador. Tiene que ver con la habilidad del terapeuta o experimentador de realizar correctamente los procedimientos para hacer modificaciones a los planes si no se cumplen las metas determinadas.

- 7) Informando al paciente que tiene éxito. El sujeto o paciente reconoce su aprendizaje sobre el tratamiento y es capaz de extrapolarlo a situaciones reales reduciendo la incidencia de los síntomas.

Estos pasos que parecen sencillos y de uso común en cualquier situación de tratamiento o de investigación, frecuentemente son desestimados e improvisados en el curso del tratamiento o estudio. De ahí la importancia de estudiar sistemáticamente los efectos de las instrucciones sobre la ejecución de los sujetos expuestos a las técnicas de neuroretroalimentación. Una implicación inmediata de la investigación en este campo sería la mejoría generalizada en la diversidad de técnicas y procedimientos típicamente empleados en el entrenamiento en biorretroalimentación.

### **Neuroretroalimentación y Ritmo sensoriomotor (SMR).**

La neuroretroalimentación es una técnica de entrenamiento que emplea los procedimientos derivados del condicionamiento operante y mediante un electroencefalograma facilita a las personas el aprendizaje para controlar y modificar su actividad cerebral (Monastra 2003). Thompson y Thompson (2003) proponen que la biorretroalimentación de la actividad eléctrica cerebral (o neuroretroalimentación) esta fundamentada en dos supuestos básicos: 1) la actividad eléctrica cerebral refleja el estado mental; y, 2) que dicha actividad puede ser entrenada.

De acuerdo con Thompson y Thompson (2003) el surgimiento de la neuroretroalimentación inicia con los trabajos de Serman a finales de los años 60, cuando estudiando la actividad cerebral durante el sueño encontró que una cierta tasa de velocidad de la actividad neurológica estaba asociada con un incremento de la relajación en gatos. Después de llevar a cabo una serie de registros de la actividad del cerebro de los gatos, Serman y sus colegas notaron un nuevo patrón en el electroencefalograma. Este patrón se caracterizó por mostrar un tipo particular de actividad de

aproximadamente 14 hertz (14 ciclos por segundo) que ocurría como una forma de estallidos de actividad recurrentes (trenes). Estos estallidos fueron asociados con la reducción de la tensión muscular de los gatos. Debido a que los registros se llevaron a cabo en un área del cerebro llamada corteza sensorio-motora, esta actividad recibió el nombre de ritmo sensorio-motor (SMR, por sus siglas en inglés). El interés por este nuevo patrón llevó al grupo de Serman a investigar si los gatos podrían incrementar la ocurrencia de esta actividad, si eran reforzados con leche cada vez que se producía el estallido de actividad SMR.

El siguiente paso fue estudiar directamente este ritmo, intentando aplicar el método del condicionamiento operante para ver si los gatos podrían ser entrenados a producir voluntariamente SMR, reforzando contingentemente la producción de SMR con comida. Bajo estas condiciones, en poco tiempo los gatos produjeron fácilmente una actividad abundante de SMR. Un comportamiento observado durante la producción de SMR fue la inmovilidad corporal, con ráfagas de SMR regularmente seguidas por una pérdida de tono muscular (Serman y Egner, 2006). Este descubrimiento frecuentemente es citado en la literatura como evidencia de que la actividad cerebral es susceptible de ser entrenada de forma directa usando técnicas del condicionamiento operante.

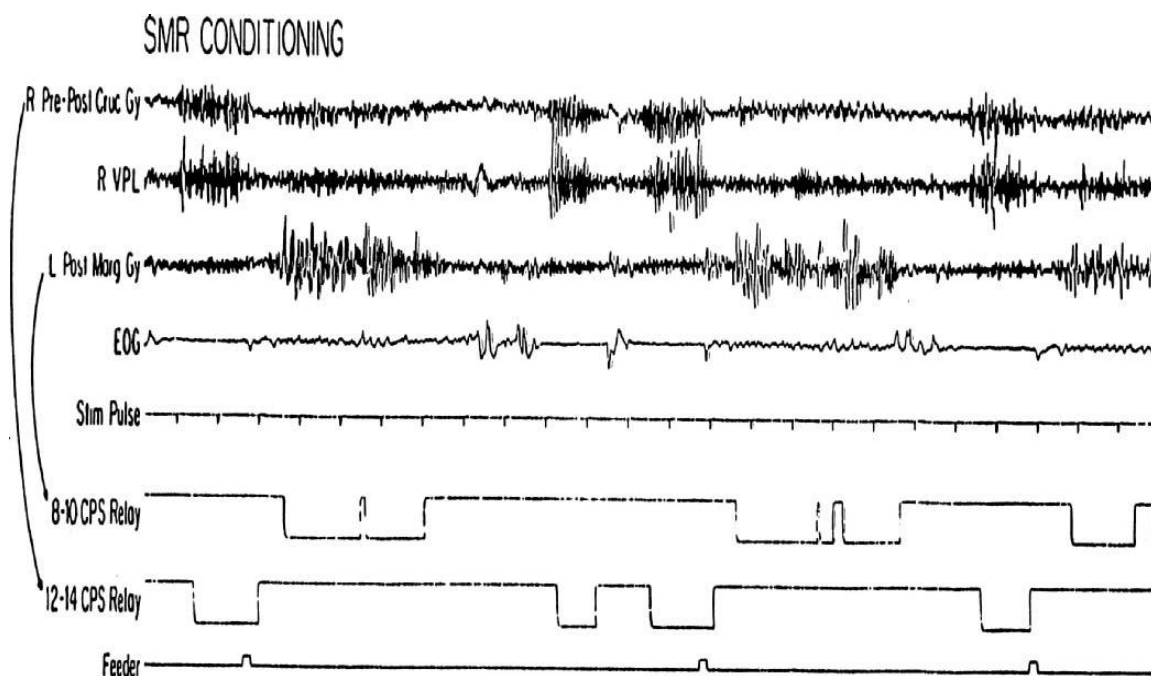
Después del estudio de sueño, Serman evaluó la toxicidad de la exposición a combustible que producía dolores de cabeza severos, náusea, hiperventilación, alucinaciones y ataques. El incremento en los niveles de combustible tuvo como resultado una secuencia de vómito, vocalizaciones, hiperventilación, salivación, ataques y eventualmente la muerte. Sin embargo, un grupo de gatos exhibió un patrón atípico de estas respuestas ya que mostraron una supresión de ataques en niveles muy superiores de la dosis que fue tolerada por el resto de los gatos. Cuando revisaron la historia

individual de cada uno de estos gatos encontraron que los gatos que fueron mucho más tolerantes a la exposición del combustible habían sido entrenados en el estudio de sueño. Es decir que habían sido entrenados a incrementar la cantidad de SMR. La conclusión fue que el entrenamiento en SMR había mejorado la resistencia de los cerebros de los gatos. La importancia de este hallazgo derivó en la posterior aplicación de estas técnicas al tratamiento de ciertos tipos de epilepsia entre otros desórdenes de exacerbación motora.

### **Anatomía relacionada con la producción del SMR**

Después de varios registros intracraneales en animales, la neurogénesis de SMR ha sido mejor entendida. De acuerdo con Howe y Serman (1972) aparentemente la actividad SMR emana del núcleo ventrobasal del tálamo (NVB), el cual generalmente conduce información aferente somatosensorial (ver Figura 1). Durante la producción condicionada de SMR, el NVB del tálamo cambia sus patrones de disparo, de ser rápidos y no rítmicos cambia a descargas sistemáticas (Howe y Serman, 1972); estas descargas están asociadas a la supresión del paso de información somatosensorial y a la reducción del tono muscular (Howe y Serman, 1973).

La reducción de las aferencias de la entrada somatosensorial, provocan una hiperpolarización de las neuronas del NVB. En vez de permanecer en un nivel estable de inhibición, una gradual despolarización por del flujo de calcio causa una descarga de trenes de espigas en las neuronas del NVB, las cuales hacen un relevo en la corteza sensoriomotora y en las neuronas del núcleo reticular del tálamo (NRT). El NRT responde con una inhibición gabaérgica hacia las neuronas NVB, estas después regresan a un estado de hiperpolarización iniciando así un nuevo ciclo de lenta despolarización.



**Figura 1. Muestra de registro del ritmo sensoriomotor EEG (primera línea), NVB del tálamo (RVPL). EEG posterior cortical (R Post. Marg Gy), electro-oculograma (EOG), indicadores de alimentación (feeder) durante el entrenamiento SMR en gatos. Se observa una correspondencia entre la actividad de SMR, en el EEG cortical y actividad del VPL, reflejando el origen del SMR en el tálamo. Se observa también el decremento de la actividad ocular durante SMR. Adicionalmente, se puede observar que después de cada reforzamiento a SMR se produce un patrón rítmico lento en la corteza posterior la cual fue denominada como “sincronización post reforzamiento” (post-reinforcement synchronization), o PRS (Adaptado de Howe y Serman, 1972).**

La relación entre las neuronas de NVB y del núcleo reticulado del tálamo y la corteza sensoriomotora resulta en una descarga rítmica tálamo-cortical y en consecuencia en oscilaciones en el EEG (ver Figura 1).

Mientras que la atenuación de las eferencias motoras y aferencias somatosensoriales pueden iniciar la actividad SMR, la actividad oscilatoria puede ser fuertemente influenciada por la neuromodulación colinérgica y monoaminoérgica, las cuales pueden afectar la actividad de los relevos del tálamo y en las áreas corticales que reciben las señales de relevo. El SMR constituye una frecuencia dominante “en espera” en la integración tálamo-cortical somatosensorial y rutas somatomotoras. El entrenamiento operante de SMR asume la facilitación del control sobre la excitación de este sistema. El incremento de los umbrales de la excitación mediante el entrenamiento

en SMR puede redundar en beneficios clínicos en los desórdenes caracterizados por la hiperexcitabilidad cortical o tálamo-cortical.

De acuerdo con Birbaumer (2005, citado en Serman y Egner 2006), estudios con Imágenes de Resonancia Magnética Funcional (fMRI) muestran que humanos que han recibido entrenamiento en SMR tienen un incremento en la actividad metabólica del estriado. Estudios con niños que padecen déficit atencional mostraron una mejora considerable de los síntomas al mismo tiempo que mostraron un incremento en el metabolismo del estriado. El estriado es el componente anterior de los ganglios basales, anatómicamente esta caracterizado por ser un sistema de fibras conectoras, las cuales establecen un liga con la corteza cerebral mediante los relevos del tálamo.

Al estriado se le han atribuido el manejo motor y la planeación de las fases de movimiento. Cuando es reducida la información de la corteza sensoriomotora que llega al putamen, que es lo que se espera en SMR, el globo pálido es más activo, el cual a su vez, inhibe los relevos del tálamo a la corteza. Esta inhibición puede alterar la regulación motora voluntaria reduciendo el tono muscular y la intención de movimiento. Consistentes con una activación de los mecanismos inhibitorios, existen estudios que muestran una reducción del tono muscular durante los trenes de SMR (Howe y Serman, 1972; Howe y Serman, 1973 Wyrwicka y Serman, 1968). Este conjunto de hallazgos permiten sugerir que una facilitación o regulación de SMR altera la salida motora.

El estudio de los mecanismos de mediaciones sinápticas ha demostrado que después del entrenamiento en SMR se obtiene como resultado una mayor densidad de conexiones sinápticas entre las áreas implicadas durante el entrenamiento (Serman 2006). Otros estudios muestran que la estimulación frecuente aumenta la fuerza sináptica en un circuito relevante, lo que se ha denominado como “potenciación de



largo plazo” (LTP, por sus siglas en inglés) la cual vuelve más susceptible la activación de los circuitos involucrados.

Además, existe evidencia indirecta que muestra que estos y otros cambios pueden ocurrir bajo condicionamiento operante de SMR. Por ejemplo, cuando grupos de gatos fueron expuestos durante varias semanas a un entrenamiento de SMR y posteriormente se introdujo una fase de extinción (el reforzamiento fue retirado), se encontró tal y como sucede con el condicionamiento operante, un notable incremento de la actividad SMR durante el periodo inicial de la extinción.

Como muestra la Figura 1, una segunda oscilación de EEG (tercera línea) asociada al condicionamiento operante de SMR, que aparece después de que se ha presentado el reforzador, es la “sincronización post-reforzamiento” (PRS, por sus siglas en inglés). La incidencia y la magnitud de PRS está directamente relacionada con el “deseo” por la recompensa (Wyrwicka y Serman, 1968) y la rapidez del aprendizaje en las pruebas de condicionamiento operante (Marczynski, Harris, y Livezey, 1981; citado en Serman y Egner, 2006). Serman (2006) ha sugerido que a través del desarrollo de LTP las oscilaciones del EEG, que se producen después del condicionamiento operante, facilitan la estabilización y la futura consolidación de este proceso de adquisición.

Paralelamente a estos hallazgos otra línea de investigación relacionada con el tratamiento de la epilepsia es el cambio en los potenciales corticales lentos (SCP), donde una mayor negatividad supone un decremento en el umbral de excitabilidad neuronal, y una mayor positividad supone un aumento en el umbral de excitabilidad neuronal. El entrenamiento de una mayor positividad en los SCP tiene el mismo objetivo que el entrenamiento de SMR, es decir, reducir la excitabilidad neuronal. Birbaumer (2005; citado en Serman y Egner, 2006) reportó que tanto el entrenamiento

de SMR como el aprendizaje de la producción de SCP positivos muestran un incremento metabólico en el estriado, lo que sugiere una afinidad de los efectos.

### **Aplicación clínica del control discriminativo del ritmo sensoriomotor**

Sterman y Friar (1972) fueron los primeros en reportar la eficacia del entrenamiento de SMR en pacientes con epilepsia. Estudios clínicos controlados mostraron pacientes que tenían un pobre control de los ataques epilépticos mediante el uso de fármacos, respondían de manera positiva al entrenamiento de SMR. En un estudio de meta-análisis se encontró que el 80% de los pacientes que incrementaron la amplitud de SMR tuvieron mejoras clínicas significativas (Sterman y Egner, 2010).

Los beneficios del entrenamiento de SMR han sido evidentes con investigaciones que muestran condiciones de control y retroalimentación aleatoria (Sterman y MacDonald, 1978). Además, existen diseños donde se invierten los procedimientos de los protocolos y muestran como se agudizan los síntomas (Sterman y MacDonald, 1978; Sterman y Egner, 2006). Lantz y Sterman (1988) llevaron a cabo un estudio con el típico diseño doble ciego donde compararon a 24 sujetos en tres condiciones experimentales: a) el incremento de la actividad 11-15 Hz; b) una retroalimentación no contingente con un grupo acoplado (*yoked control*); y, c) un grupo control. Los resultados mostraron una reducción de la incidencia de los ataques en un 61%, pero sólo en el grupo que había sido entrenado a incrementar SMR. A pesar de estos datos alentadores, Sterman y Egner (2006) han propuesto replicar estos hallazgos para confirmar los beneficios del entrenamiento de SMR para el tratamiento que se reportan en la literatura. Es necesario realizar estudios más controlados con humanos para evaluar los efectos sistemáticos de variables tales como los medicamentos, tiempo y modalidad de entrenamiento, frecuencia de las sesiones, etc.

## **Neurorretroalimentación y Actividad Theta**

Theta refiere una actividad electroencefalografía con un rango de 4-8 Hz y se ha descrito en dos tipos: una en donde se ha relacionado con un decremento en el nivel de alertamiento seguida de un estado de adormecimiento y con fallos en el procesamiento de información; y la segunda asociada a procesos atención enfocada y esfuerzo mental (Schater, 1977; Thompson y Thompson, 2003).

Se han sugerido dos generadores de la actividad Theta, uno de ellos involucra el área septal y otro al tálamo (Thompson y Thompson, 2003). En estudios recientes en donde se han integrado mediciones con un electroencefalograma y la resonancia magnética funcional se ha reportado que la corteza anterior del cíngulo tiene una influencia sobre la actividad Theta registrada en los lóbulos frontales (Pizzagalli, Oakes, y Davidson, 2003).

Existen diferentes estudios que reportan una actividad Theta elevada en personas con déficit de atención en comparación con personas sanas. Esta actividad Theta elevada se ha encontrado en estudios electroencefalográficos en condiciones de reposo, tanto con los ojos abiertos como cerrados. Las regiones cerebrales frontales es en donde se ha encontrado una elevada actividad Theta y que se ha asociado con un decremento de la atención. Se ha sugerido que una hipoactividad cortical perturba la red funcional atencional, esto se ha asociado a un retraso en la maduración neuronal, particularmente en las redes inhibitorias frontales (Klimesch, 1999; Lubar, 1999; Monastra, 2003)

Jensen y Tesche (2002) reportaron un incremento de la actividad Theta en la línea medial de los lóbulos frontales en una prueba de memoria de trabajo, en la cual los sujetos tenían que retener más información en cada ensayo del experimento. Mientras más información tenían que retener mayor era el incremento de la actividad Theta y al

finalizar los ensayos de la prueba de memoria de trabajo se presentó una reducción de la actividad Theta.

Aftanas y Golocheikine (2001) reportaron que existía un incremento de actividad Theta en regiones frontales cuando las personas meditaban, teniendo una experiencia placentera. Los autores reportaron que las personas tuvieron locus atencional interno y mostraron una reducción en la interacción al medio ambiente.

Egner, Strawson y Gruzelier (2002) realizaron un estudio sobre tratamiento del alcoholismo en el que entrenaron a las personas a incrementar la actividad Theta y Alpha en lóbulos frontales y sugirieron que el entrenamiento facilitó a los sujetos a conseguir una relajación profunda, reduciendo la ansiedad reportada por las personas.

Fernández-Harmony (2006) señaló que uno de los primeros trabajos que utilizó un protocolo de neuroretroalimentación para el tratamiento del déficit de atención e hiperactividad en niños, fue realizado por Lubar y Shouse (1976). En dicho protocolo entrenaron en el incremento de la amplitud de SMR y el decremento de la actividad Theta. Dichos autores reportaron que los niños presentaron mejoras en el rendimiento escolar durante el entrenamiento, en un siguiente paso invirtieron el programa de reforzamiento y se deterioró su rendimiento. Finalmente regresaron al entrenamiento inicial y la mejora en el rendimiento escolar se restableció.

Existen otros estudios en lo que se ha visto que no sólo el incremento de la amplitud SMR y la disminución de Theta han tenido mejoras en el tratamiento del déficit de atención e hiperactividad, la retroalimentación de la actividad Beta también ha mostrado ser eficaz incrementando los periodos de mantenimiento de la atención (Kaiser y Othmer, 1999).

Ante la diversidad de los procedimientos utilizados tanto en la investigación como en el trabajo clínico con humanos es de menester importancia evaluar las variables que intervienen en el proceso durante el entrenamiento y los efectos de las instrucciones en conjunto con el uso de técnicas operantes bajo condiciones de control discriminativo. Si la actividad SMR y la actividad Theta pueden quedar bajo el control diferencial de la neuroretroalimentación los resultados de nuestro estudio podrían contribuir a mejorar sustancialmente los beneficios de la aplicación de los procedimientos de neuroretroalimentación.

### **Pruebas preliminares**

Se realizaron varias sesiones con la finalidad de poner a prueba la metodología del experimento que incluyera el procedimiento para realizar el registro electroencefalográfico, el funcionamiento adecuado del programa, la precisión de las instrucciones; los criterios de logro a utilizar en el entrenamiento de SMR y Theta, la configuración y distribución de la información mostrada en las pantallas, la sensibilidad al programa de reforzamiento y la duración de los ciclos de entrenamiento.

Participaron seis personas adultas dos mujeres y cuatro hombres con una edad entre 18 y 32 años con una escolaridad mínima de preparatoria. Las sesiones se llevaron a cabo en el laboratorio de procesos básicos de la conducta animal y humana y en un aula del Instituto de Neurociencias de la Universidad de Guadalajara.

Se realizó una línea base de tres minutos y se obtuvo el promedio de la amplitud de SMR y de Theta. El promedio de la amplitud se estableció como el umbral a partir del cual se proporcionaría la retroalimentación. Durante el entrenamiento de SMR para que un participante obtuviera un punto debía mantener una actividad de SMR por arriba del umbral por 1.5 s. En el entrenamiento de Theta debía de mantener una actividad por

debajo del umbral. Los participantes reportaron tener claridad de la información descrita en las instrucciones.

Además, los participantes mostraron ser sensibles ante el arreglo contingencial del programa de reforzamiento puesto que incrementaron el número de puntos (reforzador) durante los ciclos de la sesión. Se estableció que una sesión de entrenamiento consistiría de siete ciclos con una duración de tres minutos (Figura 2).

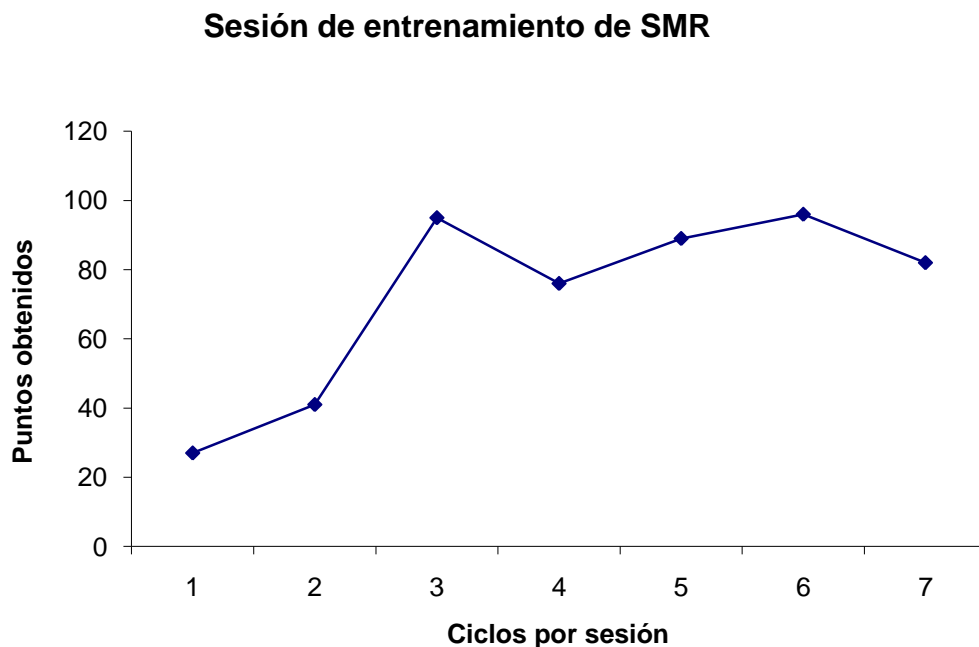


Figura 2. El eje de las  $y$  indica el número de puntos (reforzadores) obtenidos durante una sesión de entrenamiento. El eje de las  $x$  indica el número de los ciclos por sesión.

Un dato relevante que se encontró durante las sesiones de entrenamiento fue que en el registro electroencefalográfico se presentaron artefactos originados por actividad muscular (Figura 3). Ante esto se decidió incorporar un indicador de artefactos musculares en la información mostrada en las pantallas utilizadas durante el entrenamiento para que el sujeto pudiera evitar o disminuir la presencia de dichos artefactos durante los registros. Con la información que obtuvo en este estudio piloto se

realizó el ajuste final del arreglo contingencial en el programa de reforzamiento para el entrenamiento de SMR y Theta.

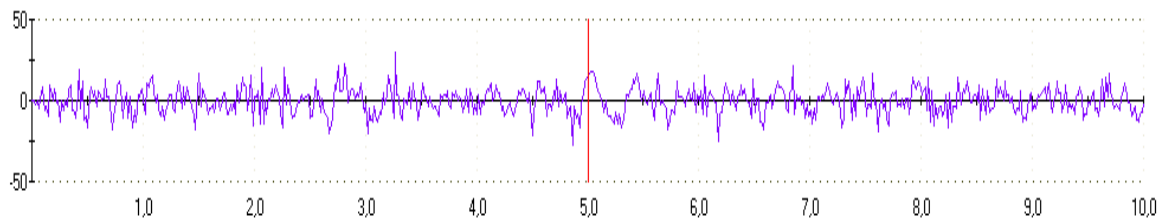


Figura 3. Registro electroencefalográfico distorsionado por la presencia de artefactos musculares.

## Planteamiento del Problema

La aplicación de la técnica de la neuroretroalimentación en humanos requiere el uso de instrucciones para facilitar el control de su actividad cerebral. Sin embargo la revisión de los protocolos que utilizan este tipo de técnica encontramos que de manera general no se reportan las instrucciones que se le proporcionan a las personas para el desempeño del entrenamiento, provocando que exista una diversidad instruccional poco precisa, hay estudios que demuestran que las instrucciones juegan un papel relevante en el control de la conducta humana. Por otro lado el tipo de tareas empleadas en ocasiones no generan respuestas precisas que permiten identificar la eficacia de los procedimientos que incluye la neuroretroalimentación. Los procedimientos de discriminación operante permiten evaluar el control discriminativo bajo el cual una persona puede responder diferencialmente a diversos estímulos.

Ante el uso indiferenciado de las instrucciones en situaciones terapéuticas y experimentales, sería de importancia iniciar una evaluación sistemática de los efectos de dicha variable sobre la aplicación de técnicas de neuroretroalimentación en humanos ante tareas de discriminativas. Establecer un comportamiento diferenciado preciso, indicaría que la ejecución del sujeto efectivamente se encuentra bajo un control

discriminativo. La información que se proporciona en las instrucciones es un parámetro que permite evaluar su efectividad en el control de la conducta. Por lo tanto podríamos asumir que ante instrucciones específicas la adquisición del control discriminativo sería más rápido si se compara con una instrucción general o poco específica. Las implicaciones de estos resultados podrían contribuir para enfatizar el papel de las instrucciones en la aplicación de tratamientos con retroalimentación tanto en ámbitos clínicos como experimentales. Uno de los protocolos que más se han utilizado tanto en investigación básica como clínica es el incremento de la amplitud de SMR y el decremento de la actividad Theta.

*Objetivo General:* evaluar el papel de las instrucciones en la adquisición del control discriminativo en el ritmo sensoriomotor y de la banda de Theta mediante la aplicación de neuroretroalimentación.

*Objetivos Específicos:* a) Analizar el efecto de las instrucciones específicas en la adquisición del control discriminativo de SMR; b) Analizar el efecto de las instrucciones específicas en la adquisición del control.

### *Hipótesis*

El grupo instruido mostrará una mayor rapidez en la adquisición del control discriminativo del ritmo sensoriomotor y de la banda de Theta. Un mayor nivel informativo de las instrucciones debería facilitar la adquisición del control discriminativo del ritmo sensoriomotor representado mediante el incremento de la amplitud pico a pico de la señal y del porcentaje de tiempo que estuvo por arriba del umbral determinado. Un menor nivel informativo de las instrucciones debería retardar la adquisición del control discriminativo del ritmo sensoriomotor representado por el incremento más gradual de la amplitud pico a pico de la señal y del porcentaje de tiempo que estuvo por arriba del umbral determinado.



## Método

### *Participantes*

Participaron diez personas sanas, hombres y mujeres con una edad de entre 18 y 30 años, estudios mínimos de preparatoria, que no consumieran ninguna droga que pudiera alterar el registro electroencefalográfico. Los sujetos informaron en cada sesión que no tuvieron una ingesta de café, alcohol o cualquier otra sustancia que alterara el registro en por lo menos doce horas.

### *Aparatos e instrumentos*

Se utilizó un equipo de biorretroalimentación de la marca *Thought Technology Ltd*, modelo *Procom Infiniti*. El software *Biograph Infiniti 3.1* se utilizó para la ejecución del entrenamiento, captura y análisis de la señal electroencefalográfica. Se utilizó un filtro notch de 60 Hz para el entrenamiento con neuroretroalimentación utilizando el canal predeterminado PI MT 1EEG – 6Phy Feedback.chs con los siguientes filtros predeterminados: a) 4-8 Hz (Theta); b) 12-15 Hz (SMR); y, c) 45-64 Hz (artefacto muscular).

Se utilizaron dos tipos de pantallas de neuroretroalimentación:

- 1) Pantalla con fondo negro en la que se registró la actividad de la banda Theta (4-7 Hz) y los artefactos musculares (45- 64 Hz);
- 2) Pantalla con fondo azul en la que se registró la actividad de SMR (12-15 Hz) y los artefactos musculares (45- 64 Hz);

Cada pantalla de neuroretroalimentación desplegó la imagen de una marioneta de color verde y dos barras: una mostró la actividad electroencefalográfica retroalimentada (SMR o Theta), y otra relacionada con los artefactos musculares. Estas barras aparecieron en color verde cuando las señales se mantuvieron dentro del umbral de retroalimentación representado como una línea roja en posición horizontal dentro de

cada barra; de lo contrario, dichas barras aparecieron en color rojo. Cuando las dos barras se mantuvieron en color verde la imagen de la marioneta simuló que caminaba. Si alguna de las barras estaba en color rojo se detenía el movimiento de la imagen de la marioneta. En la parte superior de la pantalla se ubicaron dos contadores, uno indicaba el porcentaje de tiempo que el participante logró mantener el criterio de logro y el otro contador mostraba el número de puntos (reforzador) que la persona obtuvo durante el ciclo de la sesión.

*Variable Independiente:* Instrucción específica *versus* Instrucción general

*Variables dependientes:* Amplitud pico a pico de la banda de Theta y SMR, porcentaje del tiempo de la sesión cumpliendo con los parámetros establecidos y tiempo de adquisición del control discriminativo (número de sesiones).

*Diseño experimental*

Como muestra la Tabla 1 el experimento constó de un periodo de línea base de 180'' en el que se llevó a cabo un registro de EEG (ojos abiertos), dos fases de entrenamiento de 10 sesiones cada una (Theta y SMR respectivamente) y una última fase de prueba sin reforzamiento (ensayos alternados de Theta y SMR).

Tabla 1. Muestra el diseño experimental del experimento para cada uno de los grupos.

Grupo	Línea Base	Fase 1	Fase 2	Prueba
n = 3 <b>Instrucción Específica</b>	Registro EEG 180''	Theta Pantalla negra	SMR Pantalla azul	Ensayos mezclados Sin Reforzamiento
n = 3		SMR Pantalla azul	Theta Pantalla negra	
n = 3 <b>Instrucción General</b>	Registro EEG 180''	Theta Pantalla negra	SMR Pantalla azul	Ensayos mezclados Sin Reforzamiento
n = 3		SMR Pantalla azul	Theta Pantalla negra	
Sesiones	3	10	10	2

### *Procedimiento*

Se utilizó el sistema internacional 10/20 en la colocación de los electrodos, se realizó un registro monopolar en Cz con las derivaciones de A1 y A2 como referencia y tierra. Para cada sujeto se registró una línea base de tres minutos en tres días diferentes obteniéndose el promedio de la amplitud de SMR y Theta. Con base en el promedio de la amplitud se fijó el umbral de retroalimentación para cada sujeto. Este umbral permaneció fijo para todas las sesiones del entrenamiento. Como criterio de la adquisición del control discriminativo la persona tenía que mantener por tres ciclos seguidos el 80% del tiempo arriba del umbral para SMR y 80% del tiempo abajo del umbral para Theta.

Se realizaron veinte sesiones de neuroretroalimentación, cada sesión tuvo una duración de una hora y el procedimiento consistió de siete ciclos de 3 minutos de entrenamiento por 1 minuto de descanso. Cada pantalla de neuroretroalimentación desplegó la imagen de una marioneta de color verde y dos barras: una mostró la actividad electroencefalográfica retroalimentada (SMR o Theta) y otra relacionada con los artefactos musculares. Estas barras aparecieron en color verde cuando las señales se mantuvieron dentro del umbral de retroalimentación representado como una línea roja en posición horizontal dentro de cada barra; de lo contrario, dichas barras aparecieron en color rojo. Cuando las dos barras se mantuvieron en color verde la imagen de la marioneta simuló que caminaba. Si alguna de las barras estaba en color rojo se detenía el movimiento de la imagen de la marioneta. En la parte superior de la pantalla se ubicaron dos contadores, uno indicaba el porcentaje de tiempo que el participante mantuvo el criterio de logro y, el otro contador, mostraba el número de puntos (reforzador) que la persona obtuvo durante el ciclo de la sesión.

Después de las sesiones de entrenamiento se realizaron 2 sesiones sin retroalimentación (fase de prueba). Las pantallas utilizadas sólo mostraron un color de fondo que se alternó en cada ciclo (pantalla negra/descanso, pantalla azul/descanso).

### *Instrucciones*

Se proporcionaron dos tipos de instrucciones, una general y otra específica. La instrucción general sólo cubrió un aspecto informativo (Schwartz y Schwartz, 2003). Únicamente se le indicaba al sujeto el criterio que debía cumplir, solo tenía acceso a la información desplegada en la pantalla, sin saber cual era el arreglo contingencial al que estaba expuesto; mientras que en la instrucción específica, se le informó en qué consistían cada uno de los elementos que aparecerían en la pantalla, cómo recibiría la información sobre su ejecución, qué señal estaba relacionada con cada actividad y los estados corporales asociados a dicha actividad. Las instrucciones específicas tendrían tres de los aspectos informativos propuesto por Schwartz y Schwartz (2003).

Las instrucciones se presentaron en cada sesión por a los participantes, antes de empezar la sesión tenían la oportunidad de hacer preguntas si tenían dudas y una vez disipadas daba inicio la sesión correspondiente. Las instrucciones que aparecían en la pantalla fueron como sigue:

*Instrucción específica: con la pantalla negra de fondo*

*En la pantalla aparecerán dos barras, la primera muestra la actividad asociada con un estado de adormecimiento. Lo que tienes que hacer es que la barra esté por debajo de la línea roja hasta que barra cambie su color a verde. La segunda barra está relacionada con tu actividad muscular, la cual sí está por arriba de la línea roja significará que estás tensando un grupo muscular y que debes de relajarte.*

*La marioneta de color verde que aparecerá en la pantalla sólo podrá caminar mientras estés cumpliendo con los dos requerimientos de las barras de lo contrario se quedará inmóvil, el objetivo principal es que mantengas a la marioneta en movimiento el mayor tiempo que puedas.*

*En todo momento podrás saber tus puntajes acumulados durante la sesión por los contadores que aparecerán en la parte superior de las barras.*

*Si tienes alguna duda consulta al asistente ahora. Una vez iniciada la sesión no podrás preguntar nada.*

*Con la pantalla azul de fondo*

*En la pantalla aparecerán dos barras, la primera muestra la actividad asociada a una baja tensión muscular y corresponde a un estado de alerta, lo que tienes que hacer es subir la barra por encima de la línea roja hasta que la barra cambie su color a verde. La segunda barra esta relacionada con tu actividad muscular, la cual si está por arriba de la línea roja significará que estás tensando un grupo muscular y que debes de relajarte.*

*La marioneta de color verde que aparecerá en la pantalla sólo podrá caminar mientras estés cumpliendo con los dos requerimientos de las barras de lo contrario se quedará inmóvil, el objetivo principal es que mantengas a la marioneta en movimiento el mayor tiempo que puedas.*

*En todo momento podrás saber tus puntajes acumulados durante la sesión por los contadores que aparecerán en la parte superior de las barras.*

*Si tienes alguna duda consulta al asistente ahora. Una vez iniciada la sesión no podrás preguntar nada.*

**Instrucción General:**

**Será la misma instrucción para las dos pantallas negra y azul:**

*Tu tarea consiste en que mantengas a la marioneta en movimiento el mayor tiempo que puedas.*

*Si tienes alguna duda consulta al asistente ahora. Una vez iniciada la sesión no podrás preguntar nada.*

## **Resultados**

Las Figuras 4, 5, 6, 7, 8 y 9 muestran las ejecuciones individuales de los participantes del grupo de Instrucciones Generales durante todo el experimento. Como se muestra en las Figuras 5 y 8, tanto el participante 2 como el participante 5 lograron cumplir con el criterio de adquisición durante el entrenamiento de SMR.

## Participante 1 Instrucciones Generales (Secuencia Theta – SMR)

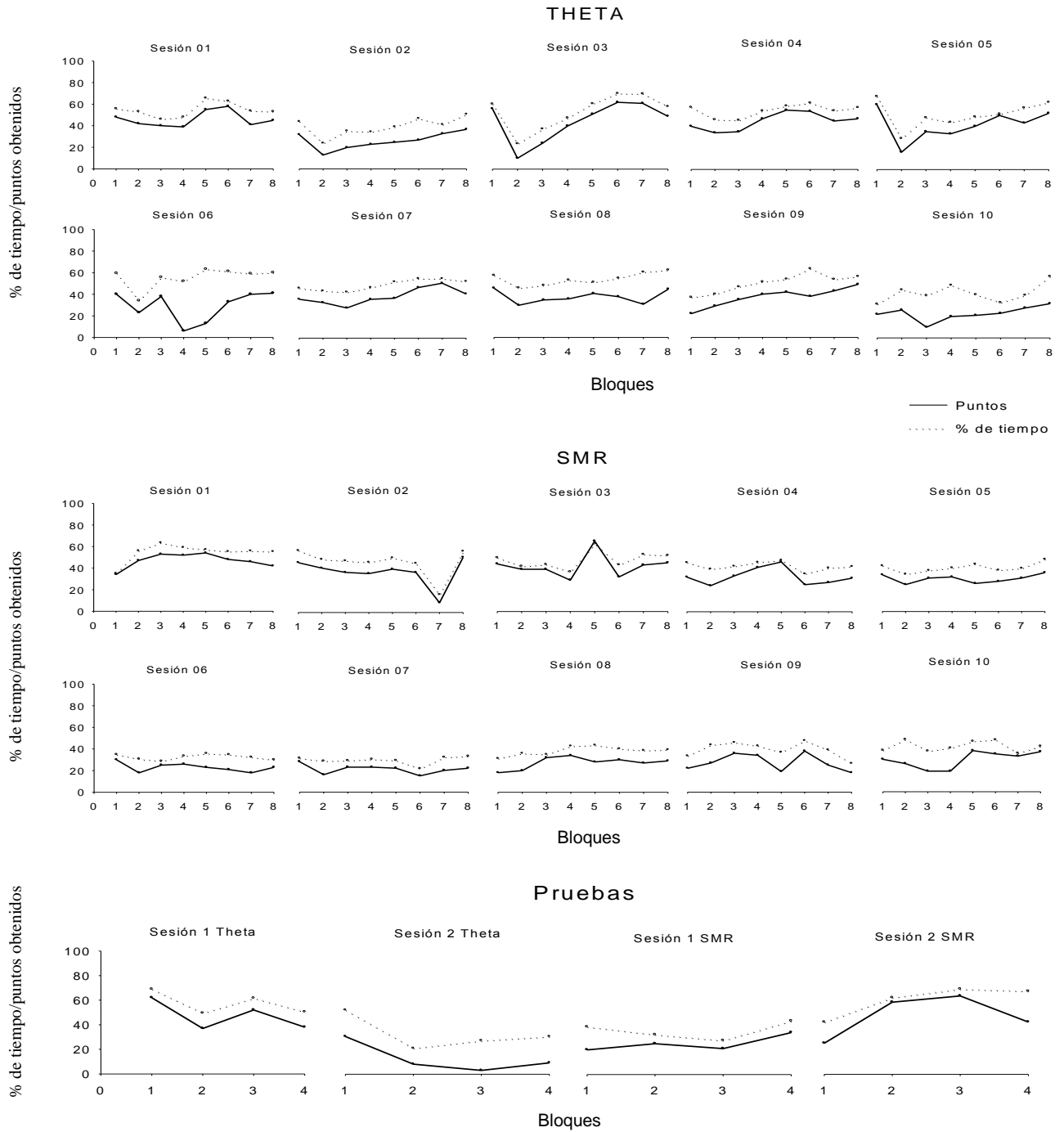


Figura 4. En el eje de las x se encuentran los bloques por sesión: Bloque 1, línea base, bloque del 2 al 8 son los de entrenamiento. En el eje de las y se encuentran el número de puntos obtenidos y el porcentaje de tiempo obtenido en la sesión.

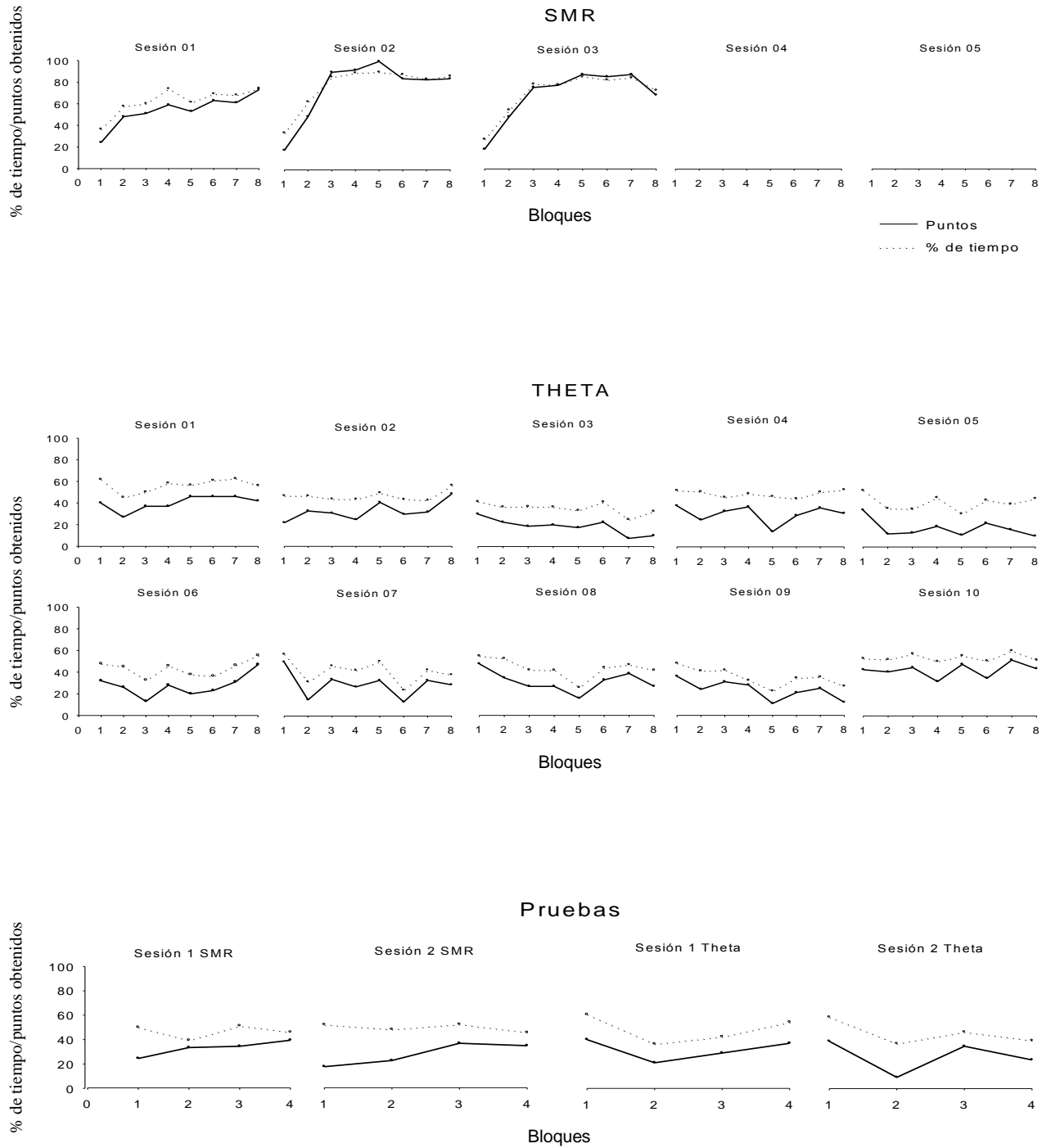


Figura 5. En el eje de las x se encuentran los bloques por sesión: Bloque 1, línea base, bloque del 2 al 8 son los de entrenamiento. En el eje de las y se encuentran el número de puntos obtenidos y el porcentaje de tiempo obtenido en la sesión

### Participante 3 Instrucciones Generales Secuencia SMR - THETA

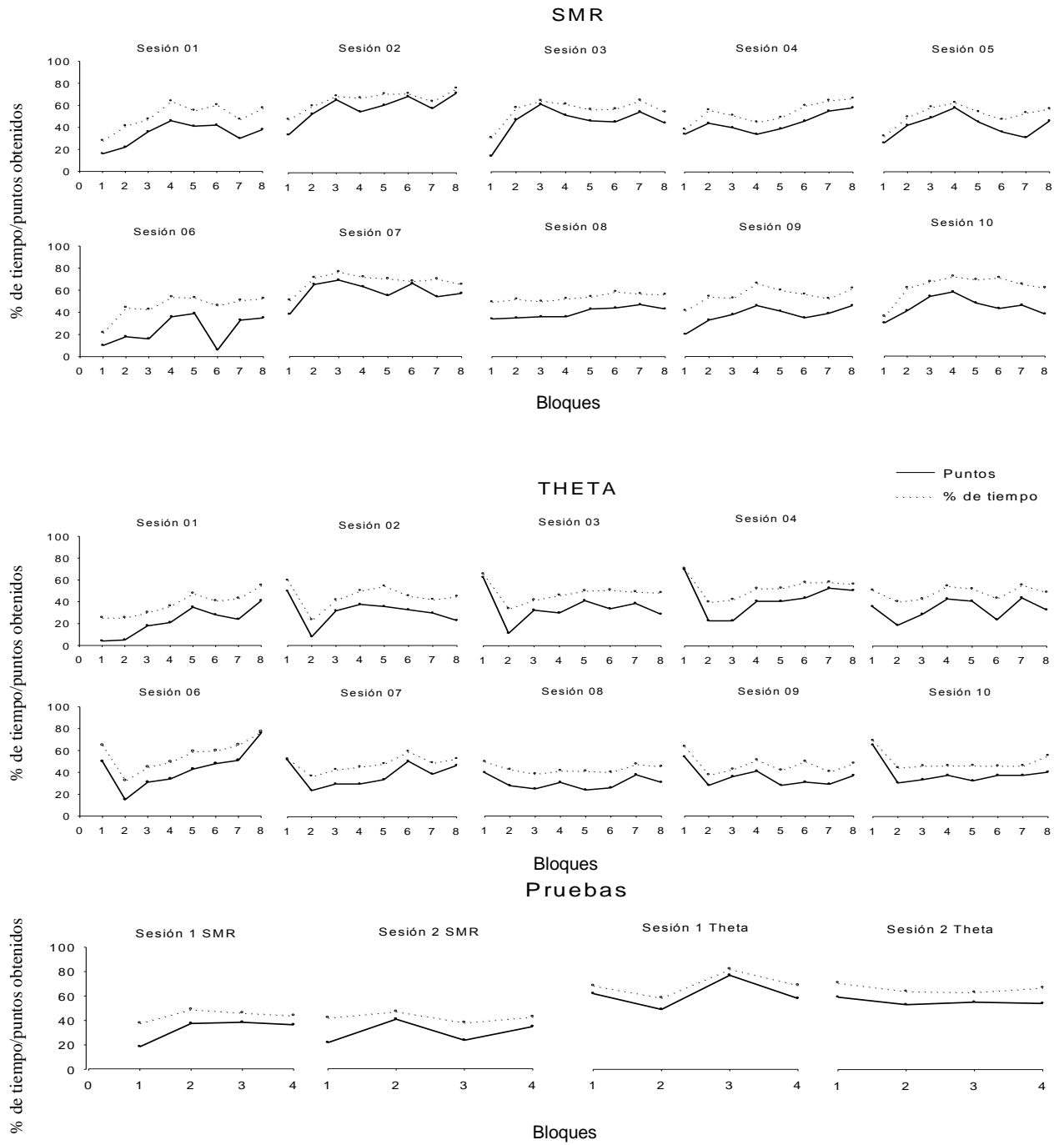


Figura 6. En el eje de las x se encuentran los bloques por sesión: Bloque 1, línea base, bloque del 2 al 8 son los de entrenamiento. En el eje de las y se encuentran el número de puntos obtenidos y el porcentaje de tiempo obtenido en la sesión



## Participante 4 Instrucciones Generales Secuencia SMR - THETA

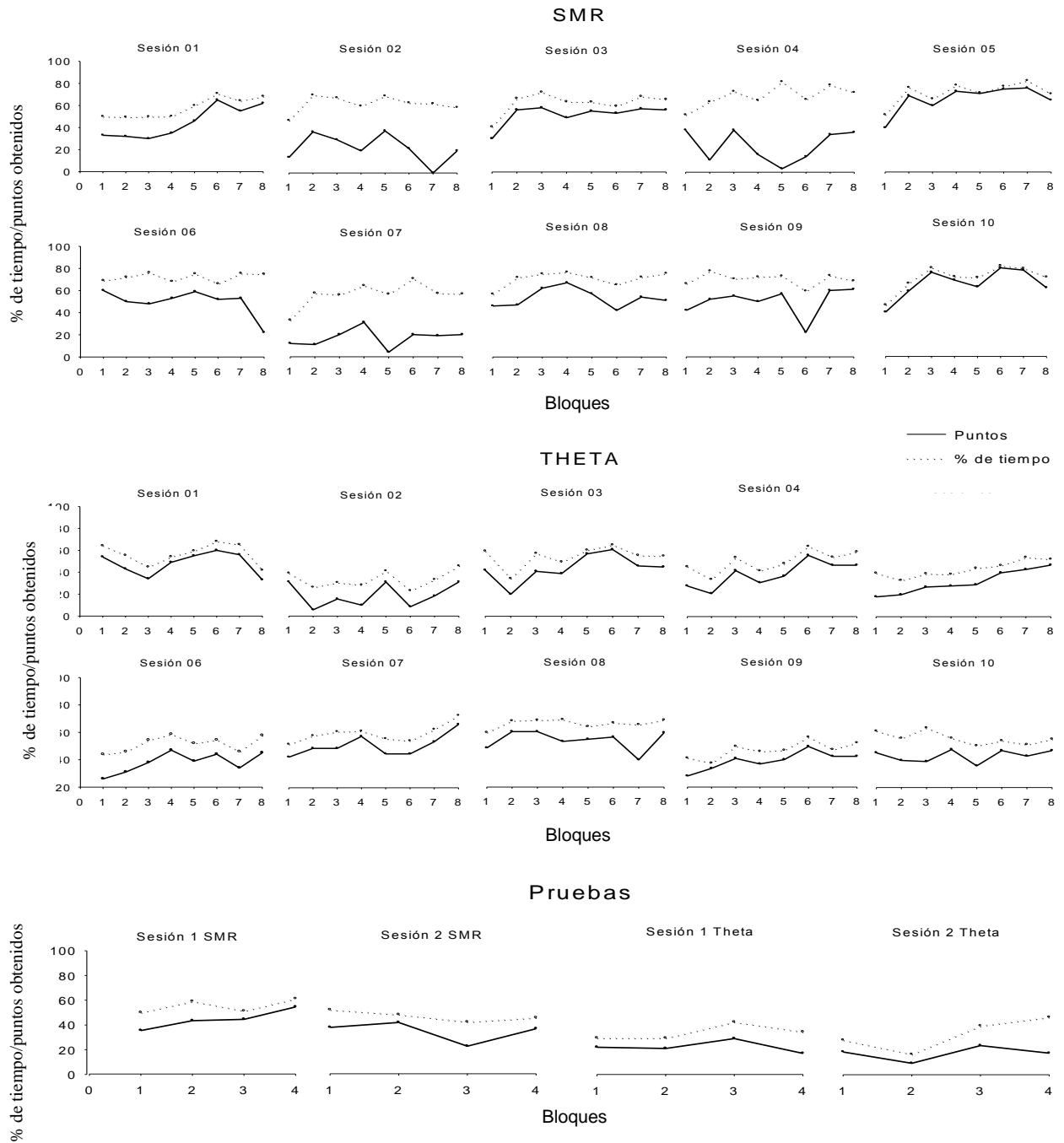


Figura 7. En el eje de las x se encuentran los bloques por sesión: Bloque 1, línea base, bloque del 2 al 8 son los de entrenamiento. En el eje de las y se encuentran el número de puntos obtenidos y el porcentaje de tiempo obtenido en la sesión.

## Participante 5 Instrucciones Generales Secuencia Theta – SMR

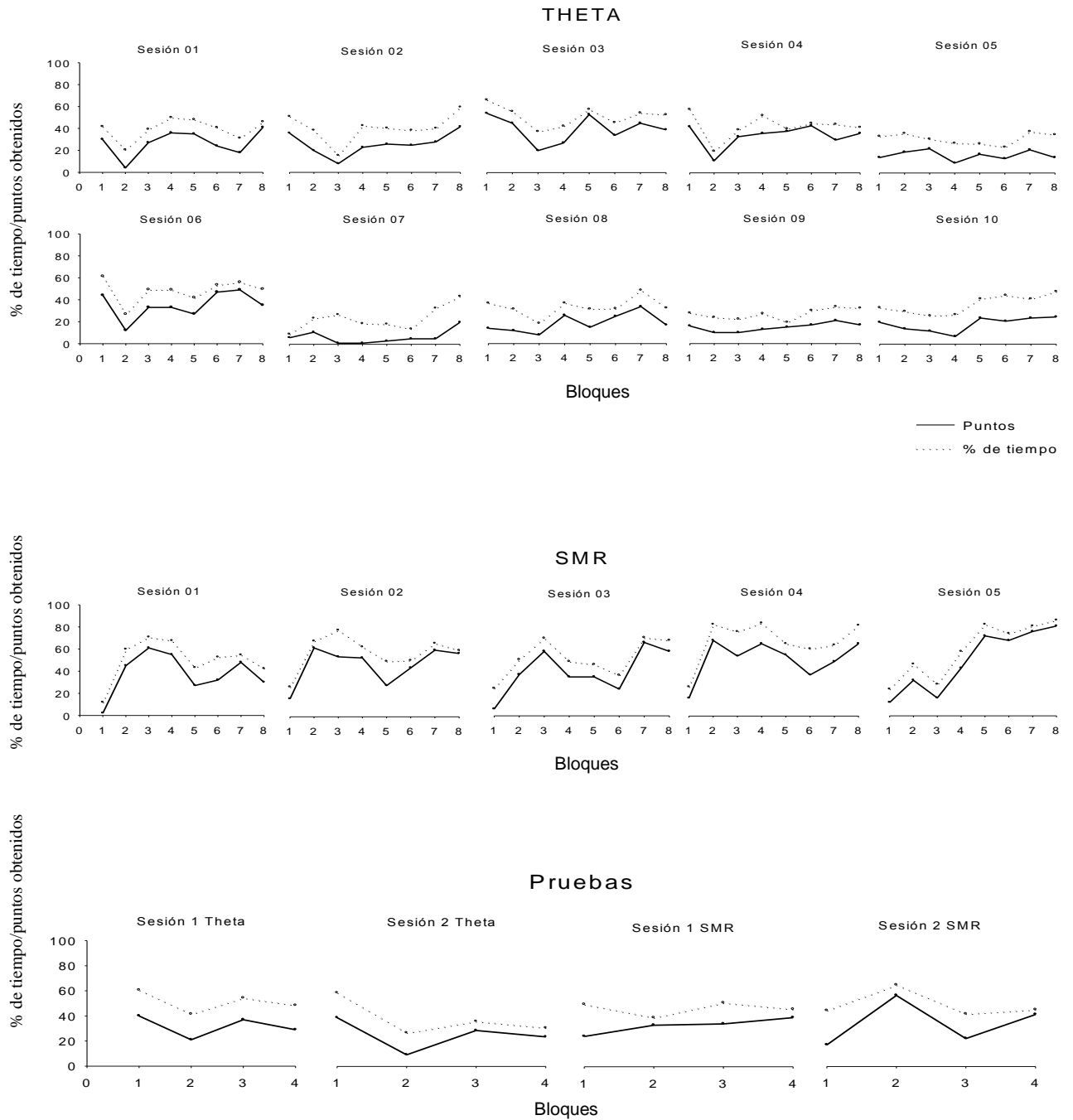


Figura 8. En el eje de las x se encuentran los bloques por sesión: Bloque 1, línea base, bloque del 2 al 8 son los de entrenamiento. En el eje de las y se encuentran el número de puntos obtenidos y el porcentaje de tiempo obtenido en la sesión.

## Participante 6 Instrucciones Generales Secuencia Theta – SMR

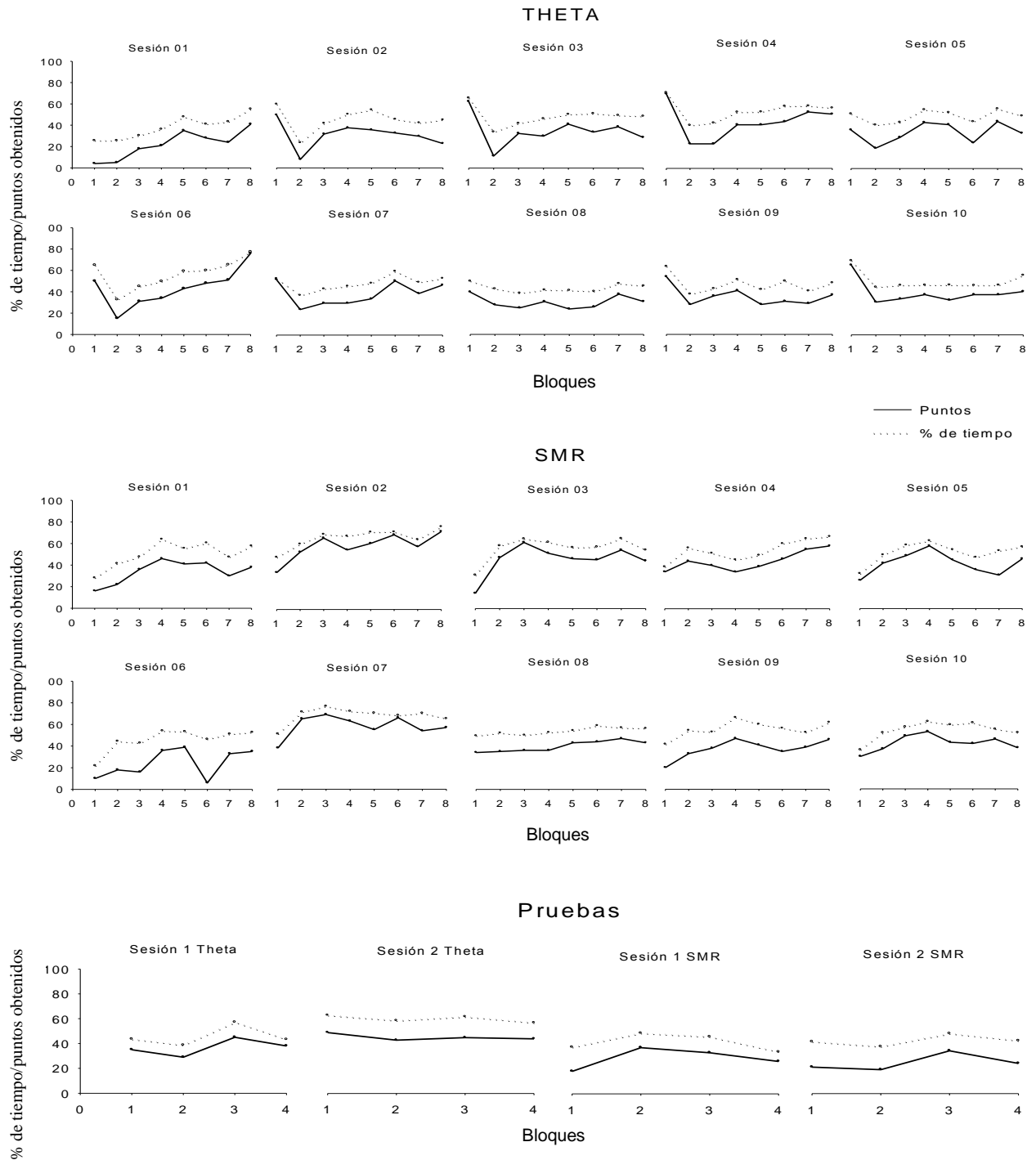


Figura 9. En el eje de las x se encuentran los bloques por sesión: Bloque 1, línea base, bloque del 2 al 8 son los de entrenamiento. En el eje de las y se encuentran el número de puntos obtenidos y el porcentaje de tiempo obtenido en la sesión.

Las Figuras 10, 11, 12, 13, 14 y 15 muestran las ejecuciones individuales de los participantes del grupo de Instrucciones Específicas durante todo el entrenamiento. Como muestran las Figuras 11, 13 y 15, los participantes 2, 4 y 6 lograron cumplir con el criterio de adquisición durante el entrenamiento de SMR.

Por otro lado, ninguno de los participantes de ambos grupos logró cumplir con el criterio de adquisición durante el entrenamiento de Theta. La Figura 16 muestra el número de puntos que obtuvo cada participante a lo largo de las sesiones de entrenamiento de SMR, tanto para el grupo de instrucciones Generales como para el grupo de instrucciones Específicas. La Figura 17 muestra el número de puntos que obtuvo cada participante a lo largo de las sesiones de entrenamiento de Theta, tanto para el grupo de instrucciones Generales como para el grupo de instrucciones Específicas. La Figura 18 muestra que el grupo de Instrucciones Específicas tuvo un mejor desempeño en comparación con el grupo de Instrucciones Generales en cualquiera de los entrenamientos. En el entrenamiento de Theta, el grupo de instrucciones Generales mostró una tendencia hacia la baja conforme aumentaba el número de sesiones, en cambio el grupo de Instrucciones Específicas presentó una mayor variabilidad en su desempeño.

## Participante 1 Instrucciones Específicas Secuencia SMR - THETA

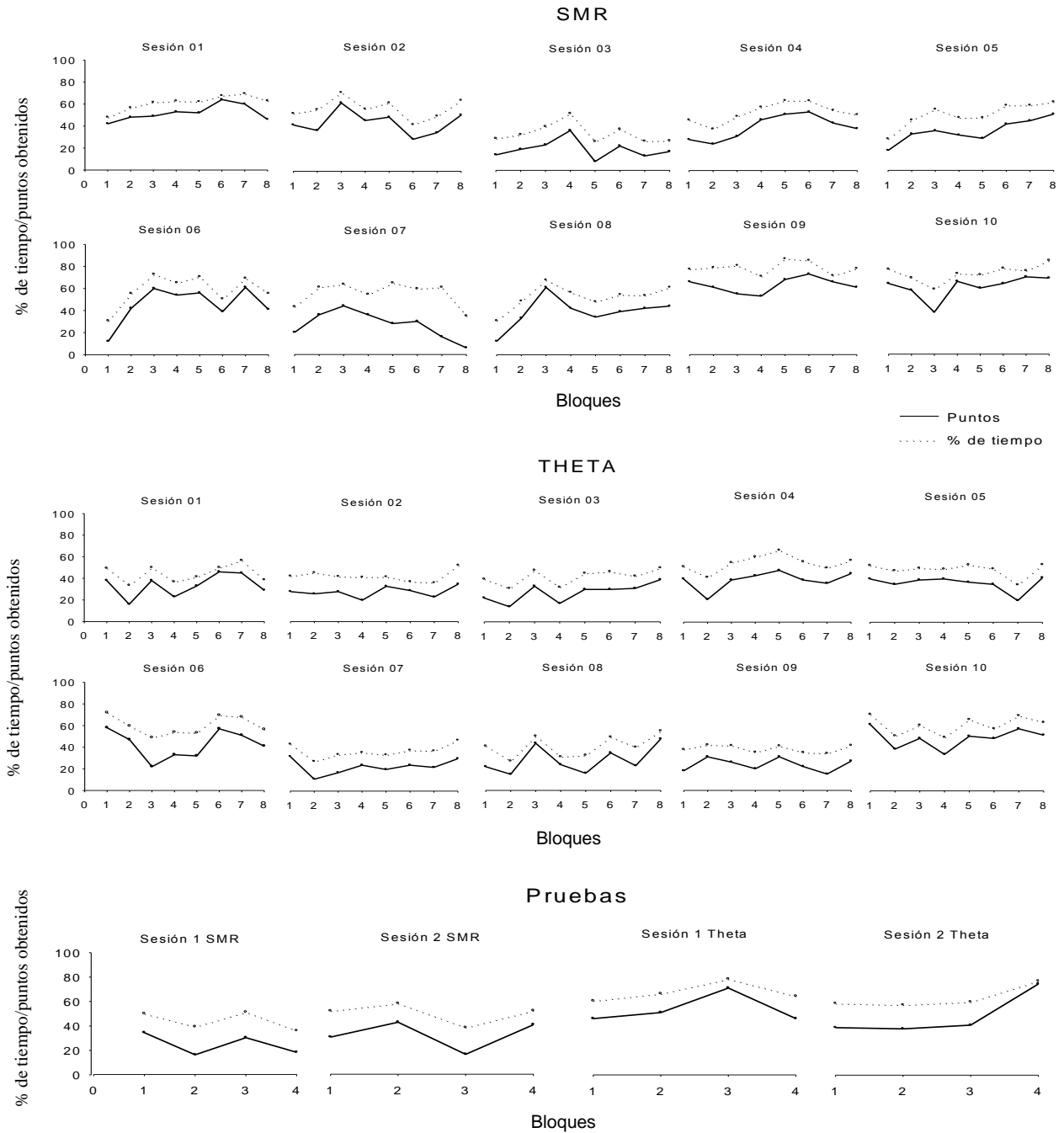


Figura 10. En el eje de las x se encuentran los bloques por sesión: Bloque 1, línea base, bloque del 2 al 8 son los de entrenamiento. En el eje de las y se encuentran el número de puntos obtenidos y el porcentaje de tiempo obtenido en la sesión.

## Participante 2 Instrucciones Específicas Secuencia THETA – SMR

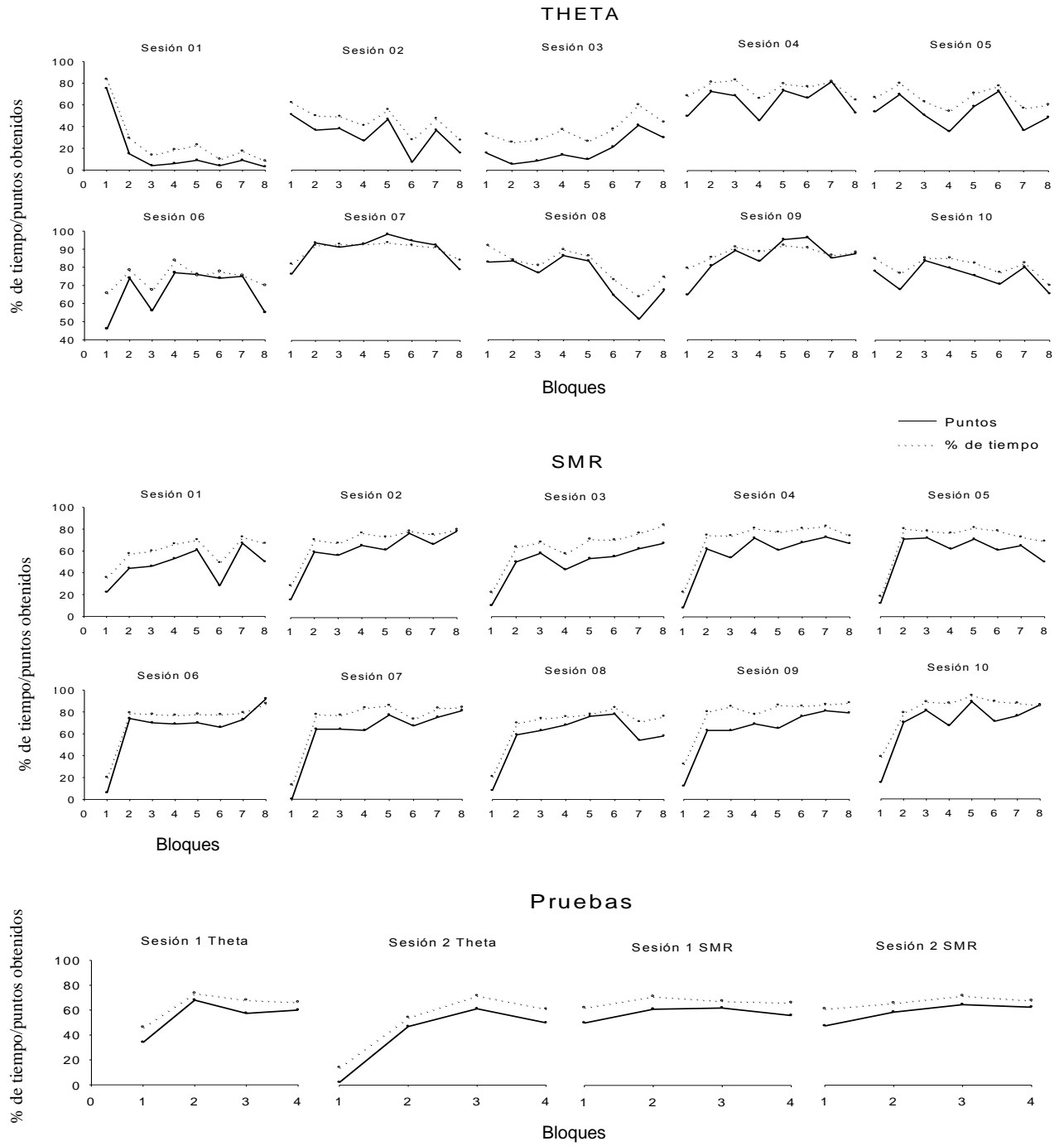


Figura 11. En el eje de las x se encuentran los bloques por sesión: Bloque 1, línea base, bloque del 2 al 8 son los de entrenamiento. En el eje de las y se encuentran el número de puntos obtenidos y el porcentaje de tiempo obtenido en la sesión.

## Participante 3 Instrucciones Específicas Secuencia THETA - SMR

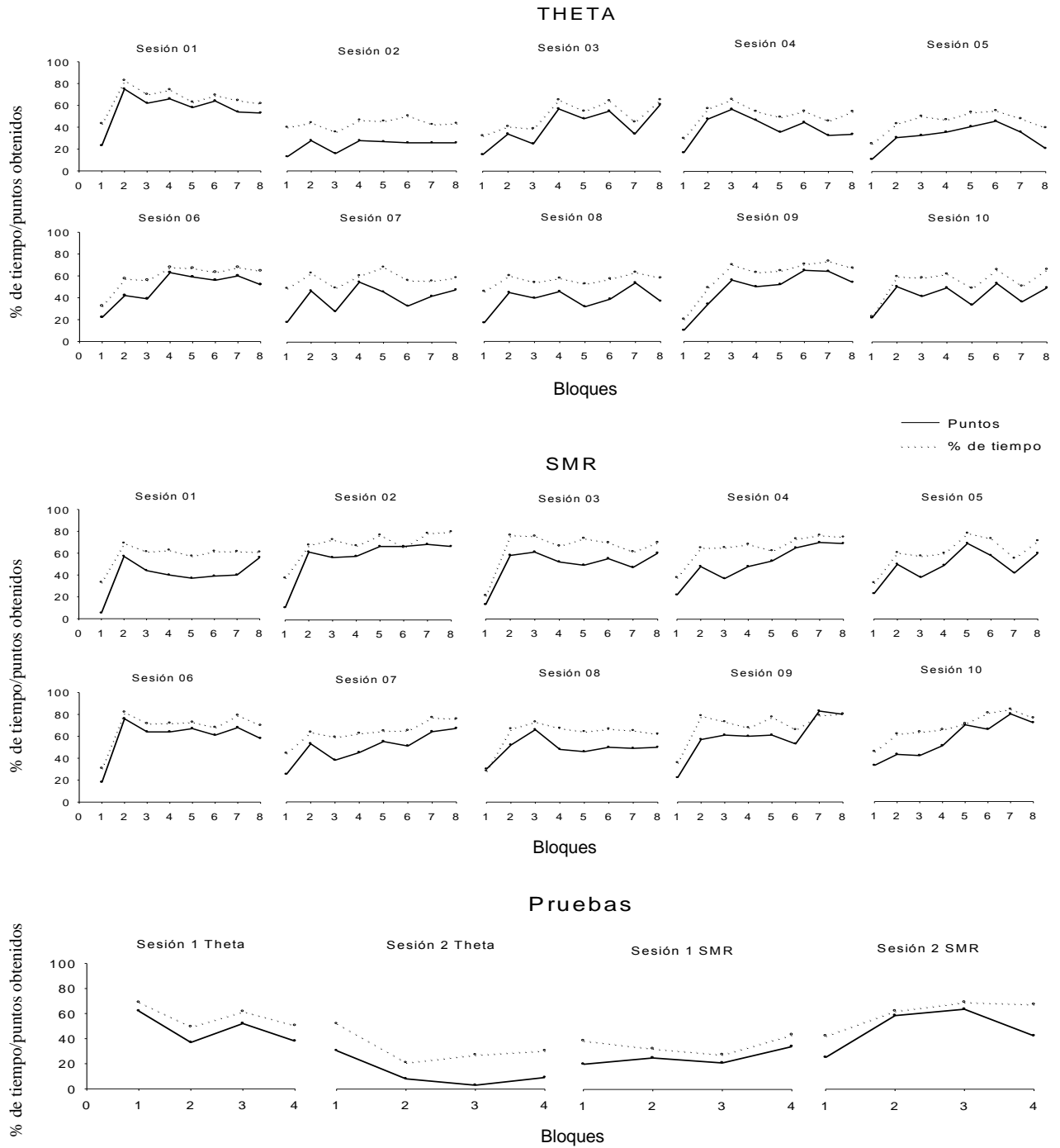


Figura 12. En el eje de las x se encuentran los bloques por sesión: Bloque 1, línea base, bloque del 2 al 8 son los de entrenamiento. En el eje de las y se encuentran el número de puntos obtenidos y el porcentaje de tiempo obtenido en la sesión.

## Participante 4 Instrucciones Específicas Secuencia THETA - SMR

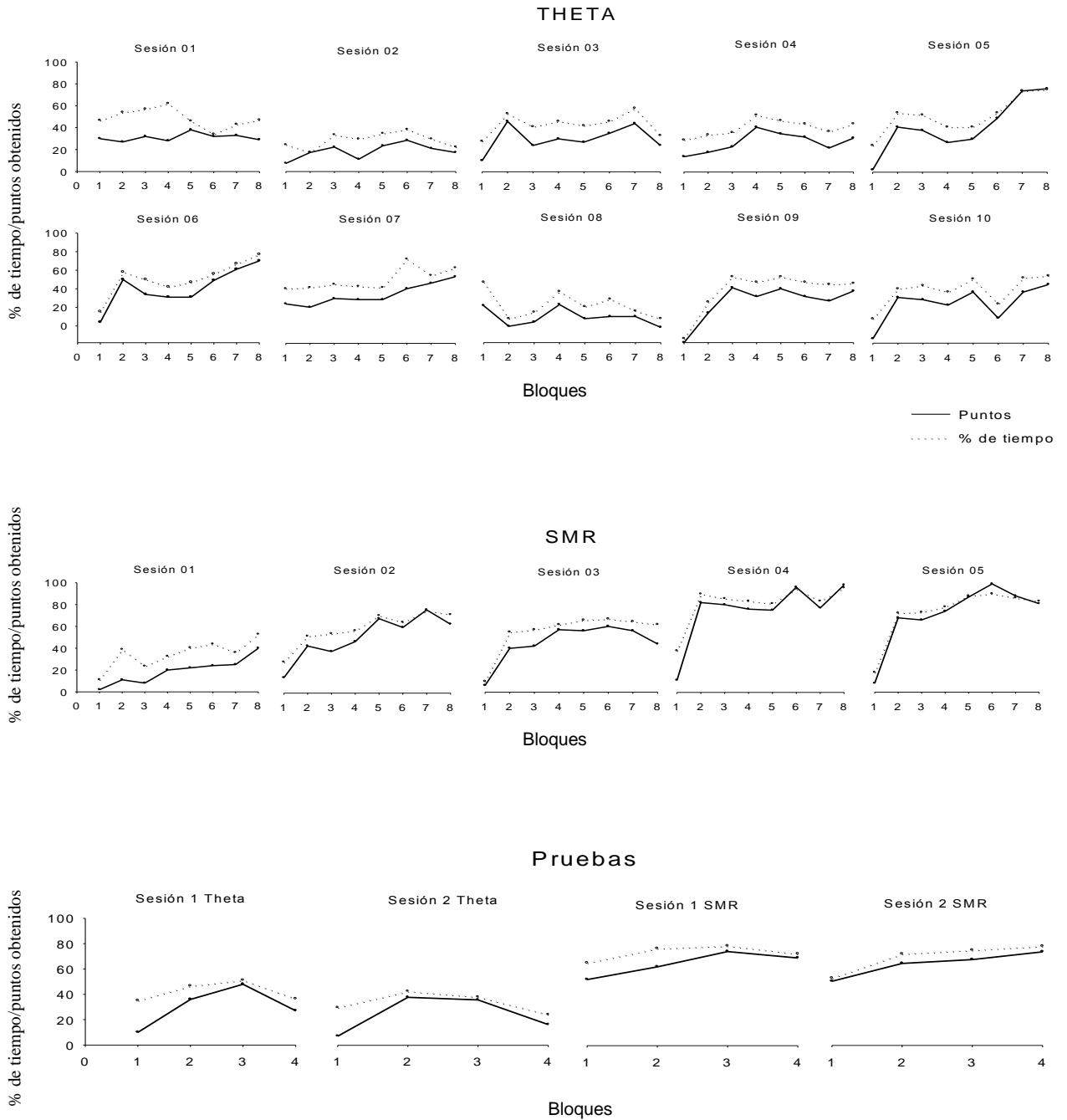


Figura 13. En el eje de las x se encuentran los bloques por sesión: Bloque 1, línea base, bloque del 2 al 8 son los de entrenamiento. En el eje de las y se encuentran el número de puntos obtenidos y el porcentaje de tiempo obtenido en la sesión.



## Participante 5 Instrucciones Específicas Secuencia SMR - THETA

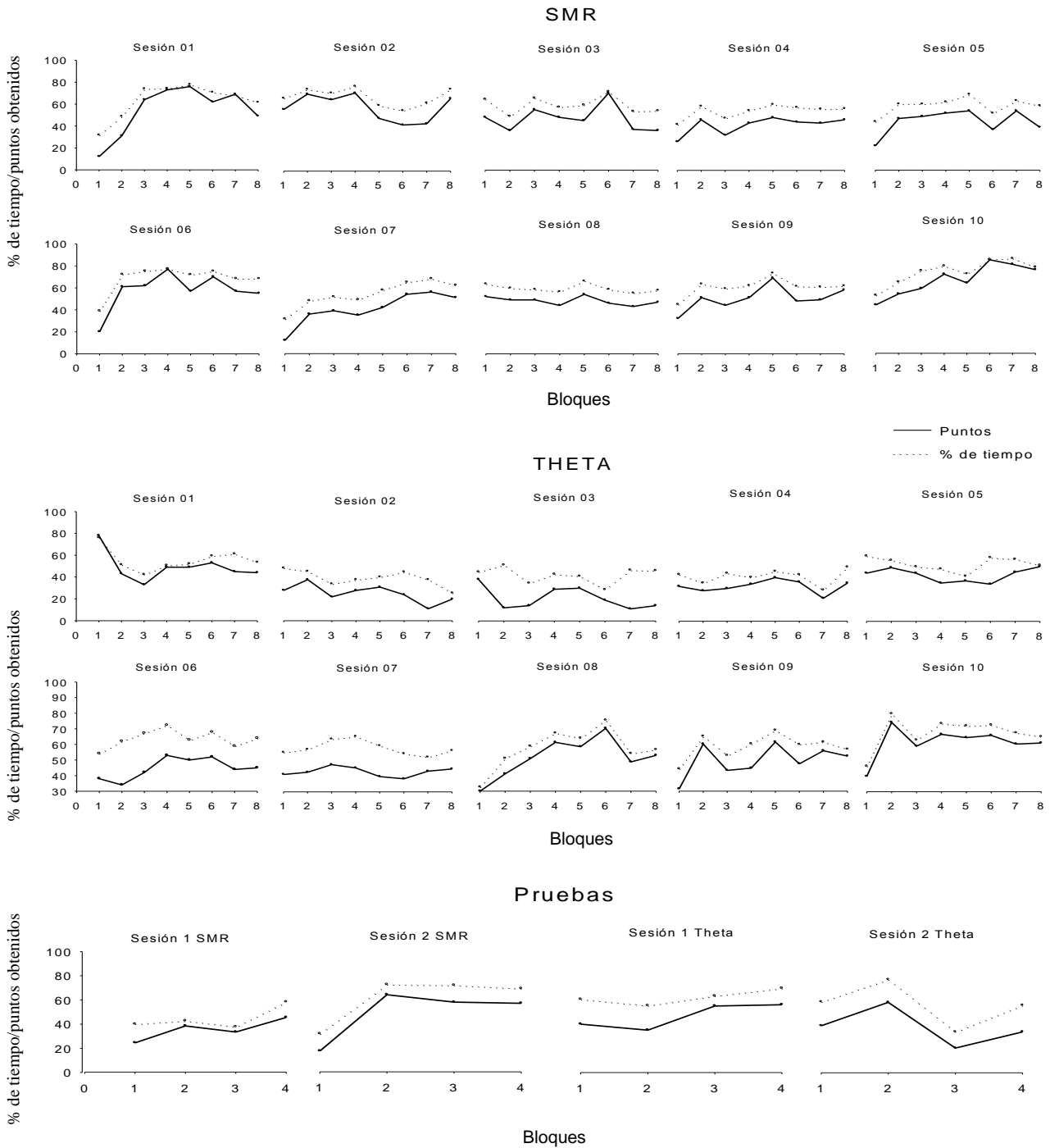


Figura 14. En el eje de las x se encuentran los bloques por sesión: Bloque 1, línea base, bloque del 2 al 8 son los de entrenamiento. En el eje de las y se encuentran el número de puntos obtenidos y el porcentaje de tiempo obtenido en la sesión.

## Participante 6 Instrucciones Específicas (Secuencia SMR – THETA)

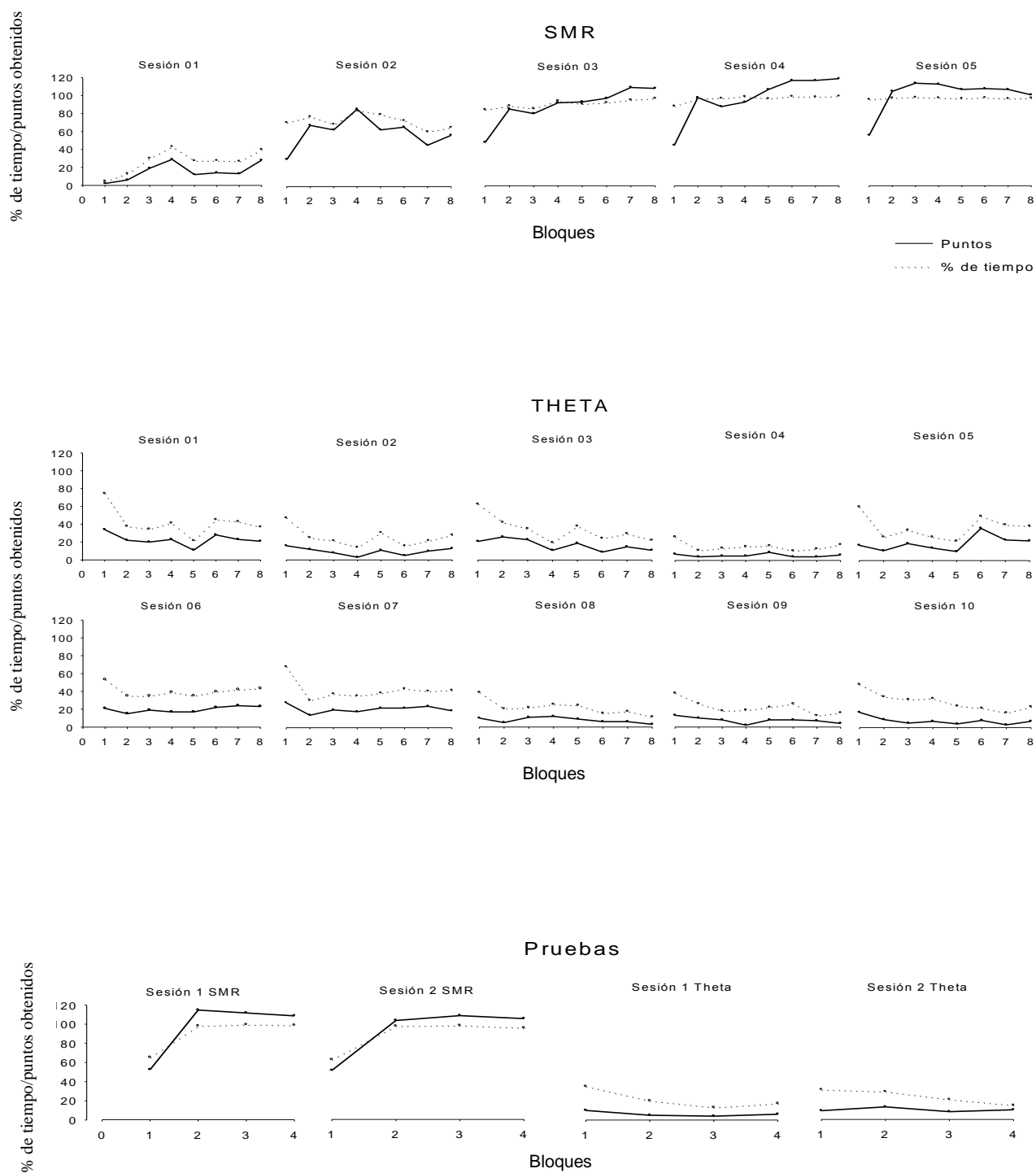
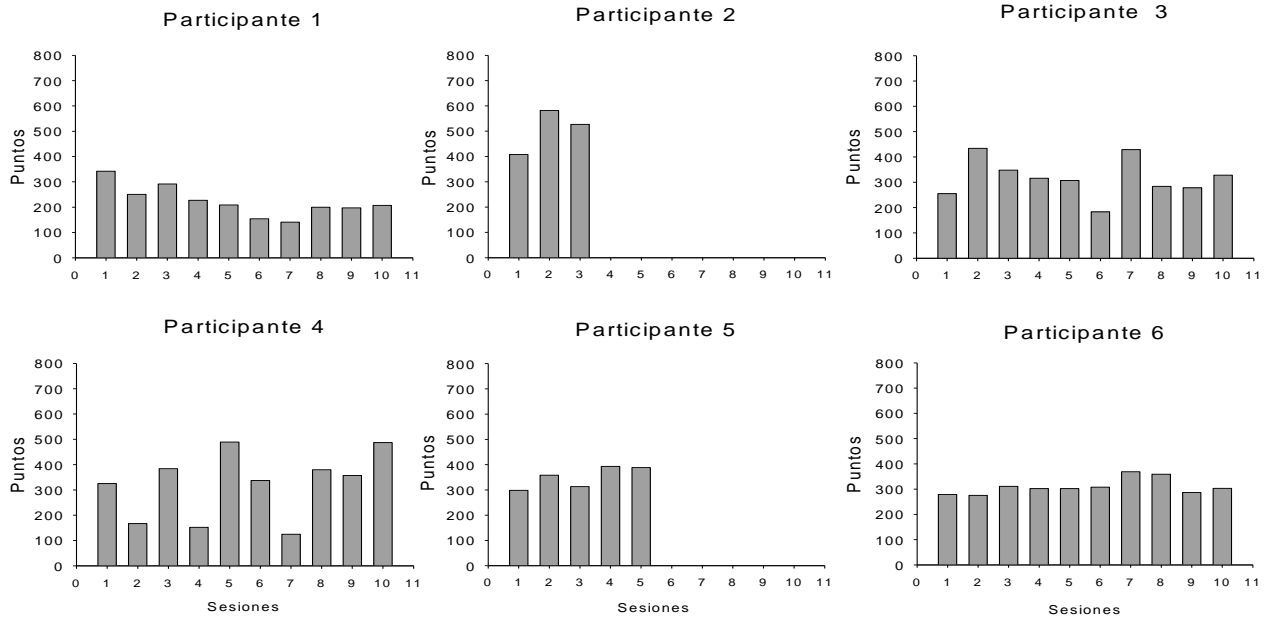


Figura 15. En el eje de las x se encuentran los bloques por sesión: Bloque 1, línea base, bloque del 2 al 8 son los de entrenamiento. En el eje de las y se encuentran el número de puntos obtenidos y el porcentaje de tiempo obtenido en la sesión.

## Entrenamiento SMR

### Instrucciones Generales



### Instrucciones Específicas

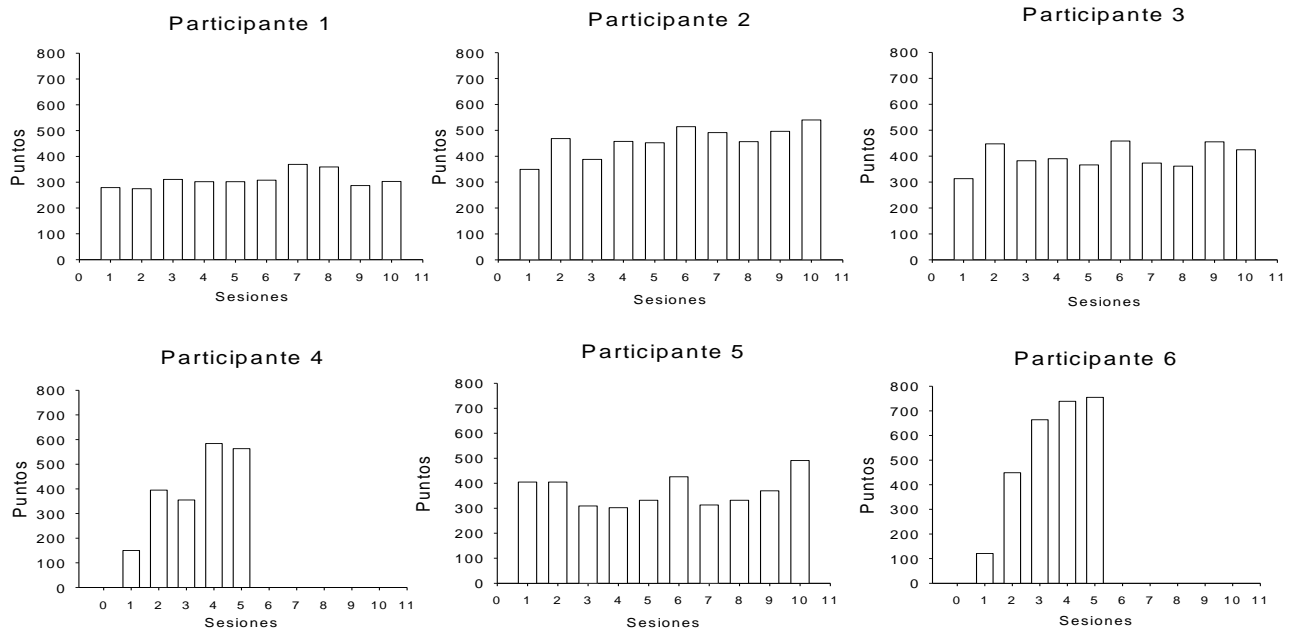
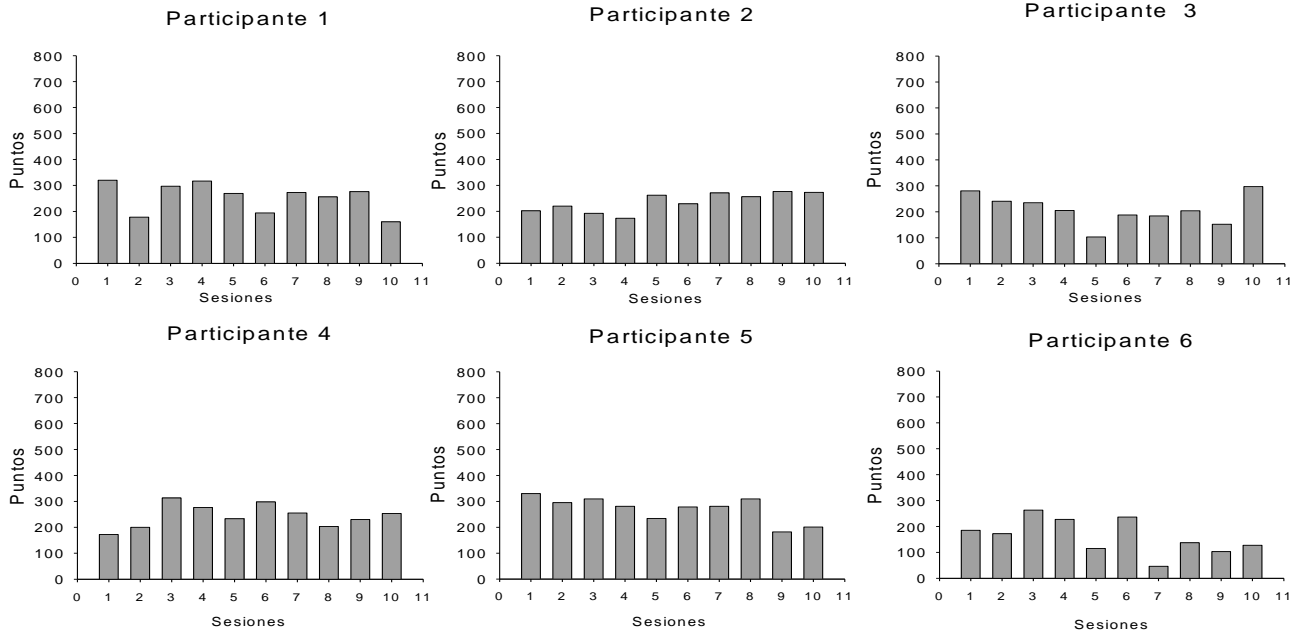


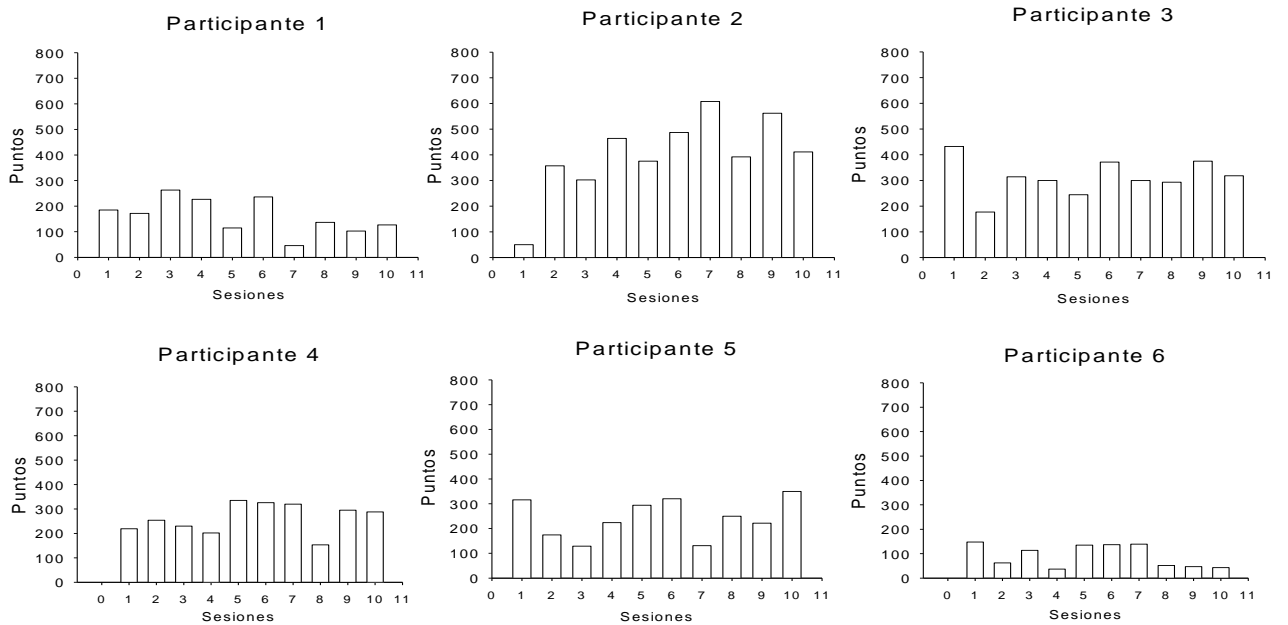
Figura 16. Para cada gráfica el eje y indica el número de puntos (reforzadores) que obtuvo el participante durante el entrenamiento de SMR. En el eje x indica las sesiones del entrenamiento.

# Entrenamiento THETA

## Instrucciones Generales



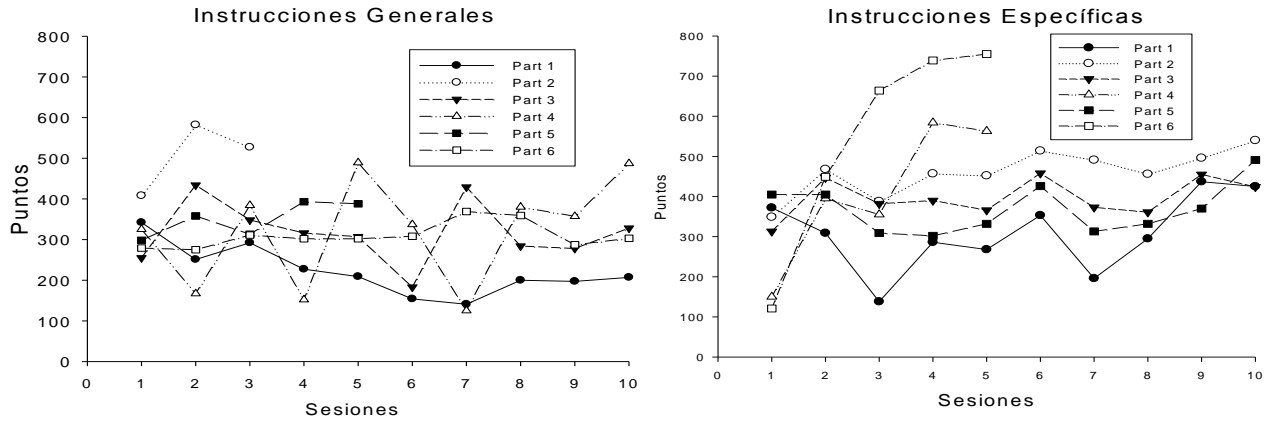
## Instrucciones Específicas



La Figura 17. Para cada gráfica el eje y indica el número de puntos (reforzadores) que obtuvo el participante durante el entrenamiento de Theta. En el eje x indica las sesiones del entrenamiento.

## Entrenamiento de SMR y Theta por Grupo

### Entrenamiento SMR



### Entrenamiento THETA

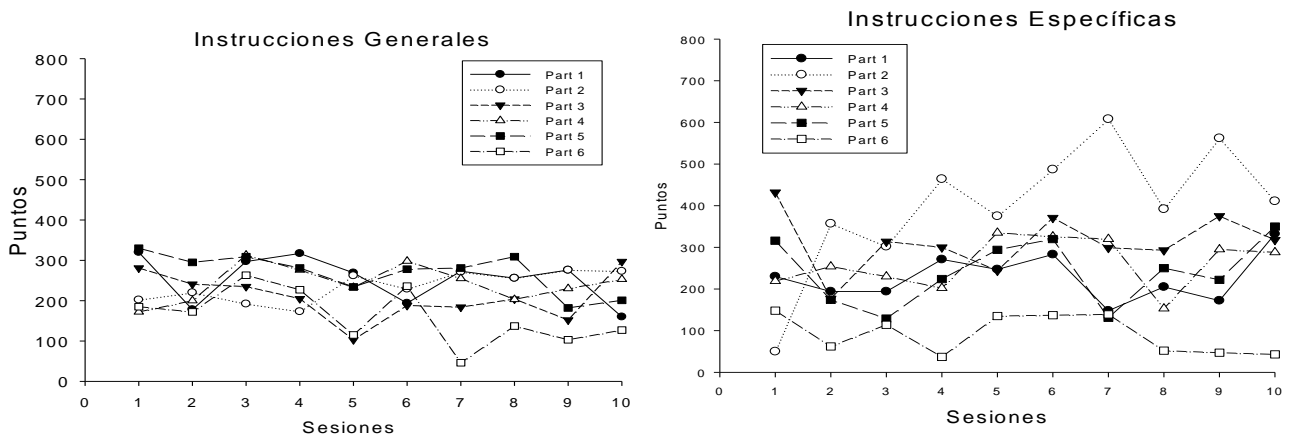
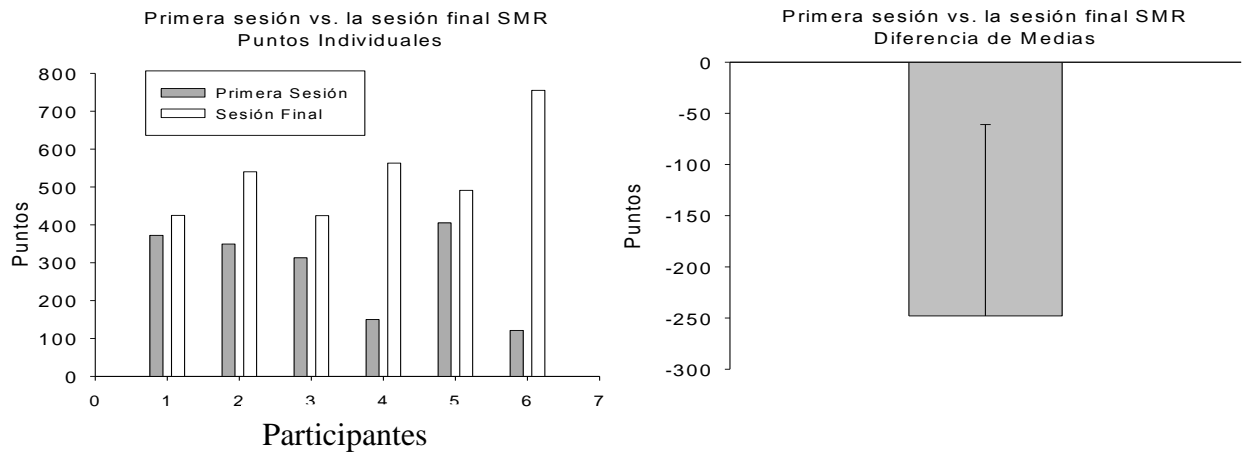


Figura 18. En el eje y indica el número de puntos obtenidos, el eje x indica las sesiones durante el entrenamiento.

En el grupo de Instrucciones Específicas se hizo la comparación entre los puntos obtenidos en la sesión inicial y en la sesión final del entrenamiento de SMR y se encontró una diferencia significativa  $t_{(5)} = -2,65$   $P=.0454$ . En la sesión final los participantes obtuvieron 248 puntos más en promedio comparado con su sesión inicial.

## Instrucciones Específicas



## Instrucciones Generales

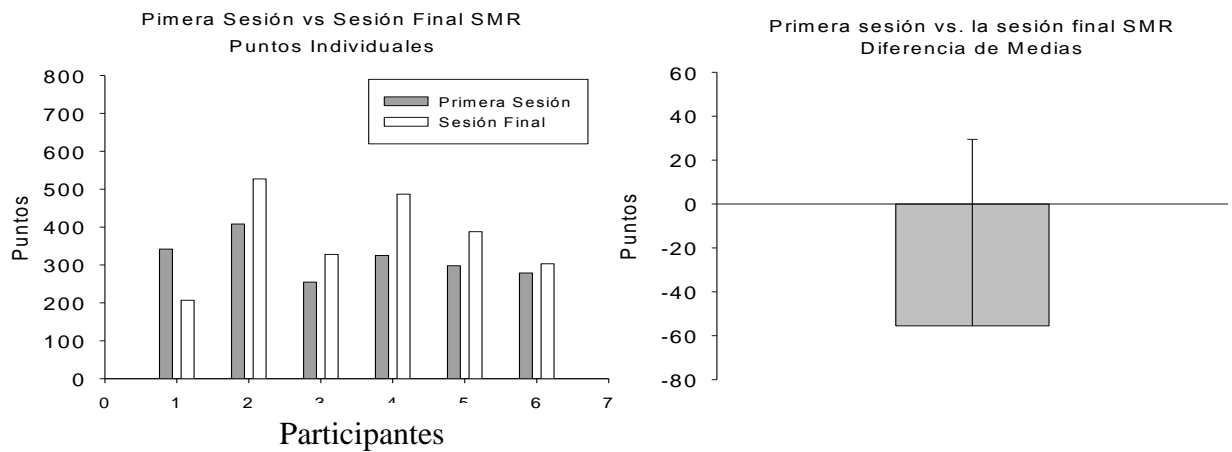


Figura 19. Las gráficas de la izquierda muestran la primera sesión y la sesión final de los participantes de cada grupo. Las gráficas de la derecha muestran la diferencia de medias de cada grupo, línea vertical dentro de la columna indica dos errores estándar de la media.

En el grupo de Instrucciones Generales los participantes obtuvieron 56 puntos más en promedio en la última sesión en comparación con la primera sesión, pero no se encontró una diferencia significativa. La Figura 19 muestra la diferencia de las medias en cada grupo.

A partir de los puntos que obtuvieron los participantes en la última sesión de SMR se comparó al grupo de Instrucciones Generales contra el grupo de Instrucciones Específicas y como se muestra en la Figura 20 se comprobó que son significativamente

diferentes  $t_{(10)} = -2.28$ ,  $p = .0457$ . El grupo de instrucciones Específicas obtuvo en promedio 160 puntos más que el grupo de Instrucciones Generales.

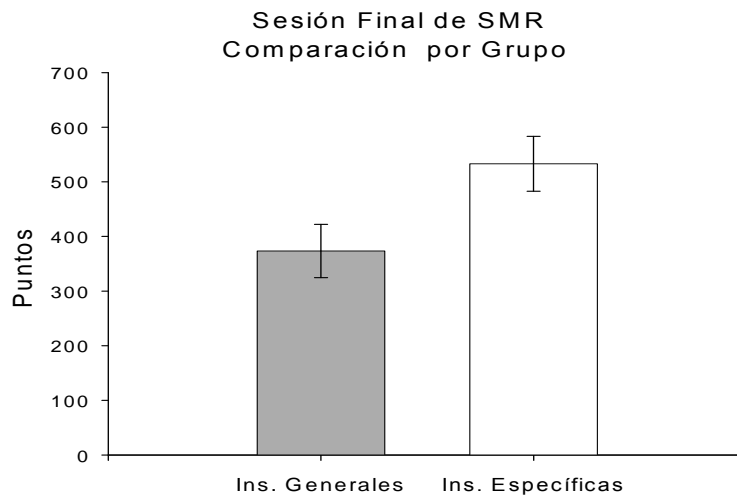


Figura 20. Comparación de la media de puntos obtenidos en la última sesión entre los dos grupos. Las líneas que se encuentran en cada columna indican dos errores estándar.

En el grupo de Instrucciones Generales se compararon los puntos obtenidos en la sesión inicial contra la sesión final del entrenamiento de Theta y no hubo diferencias significativas. En la sesión final los participantes obtuvieron 30 puntos menos en promedio comparando con la sesión inicial. En el grupo de Instrucciones Específicas los participantes obtuvieron 58 puntos más en promedio en la última sesión con respecto a la primera sesión, pero no se encontró una diferencia significativa.

Utilizando los puntos que obtuvieron los participantes en la última sesión de Theta se comparó al grupo de instrucciones generales contra el grupo de instrucciones específicas. El grupo de Instrucciones Específicas tuvo en promedio 72 puntos más que el grupo de Instrucciones Generales pero como muestra la Figura 21 no se encontraron diferencias significativas.

Se comparó la sesión inicial de ambos grupos en las dos condiciones de entrenamiento y no se encontraron diferencias significativas.

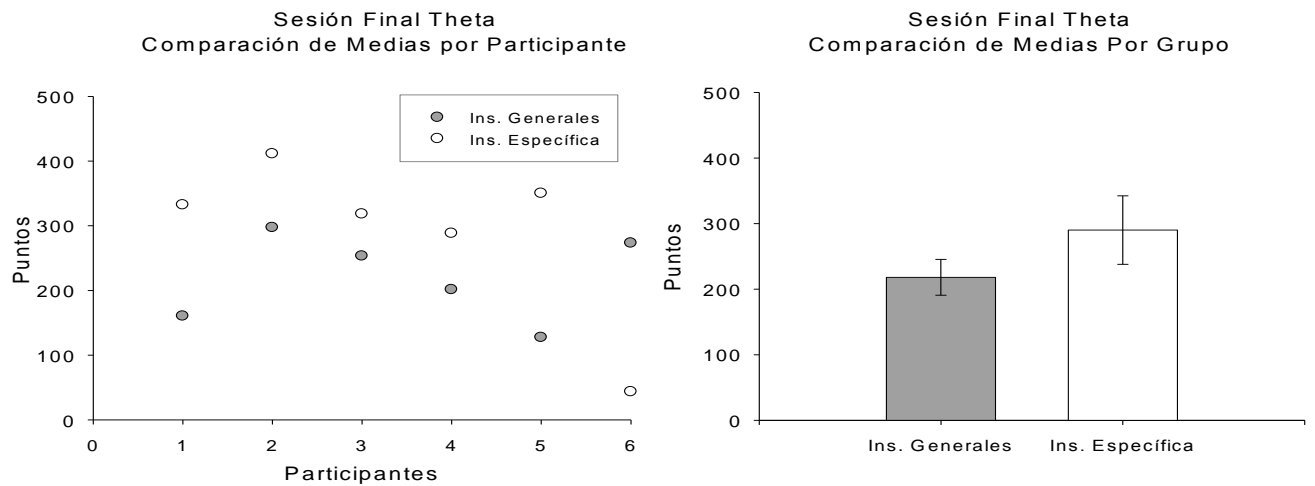


Figura 21. Comparación de la media de puntos obtenidos en la última sesión entre los dos grupos. Las líneas que se encuentran en la columna indican dos errores estándar.

Al comparar los puntos obtenidos en la Prueba 2 de SMR de los dos grupos de instrucciones se encontró una diferencia significativa de  $u=3$ ,  $P=.0152$

En el grupo de Instrucciones Específicas se comparó la Prueba 2 de SMR contra la Prueba 2 de Theta y se encontró una diferencia significativa de  $t_{(10)}=-2.5$ ,  $P=.0315$

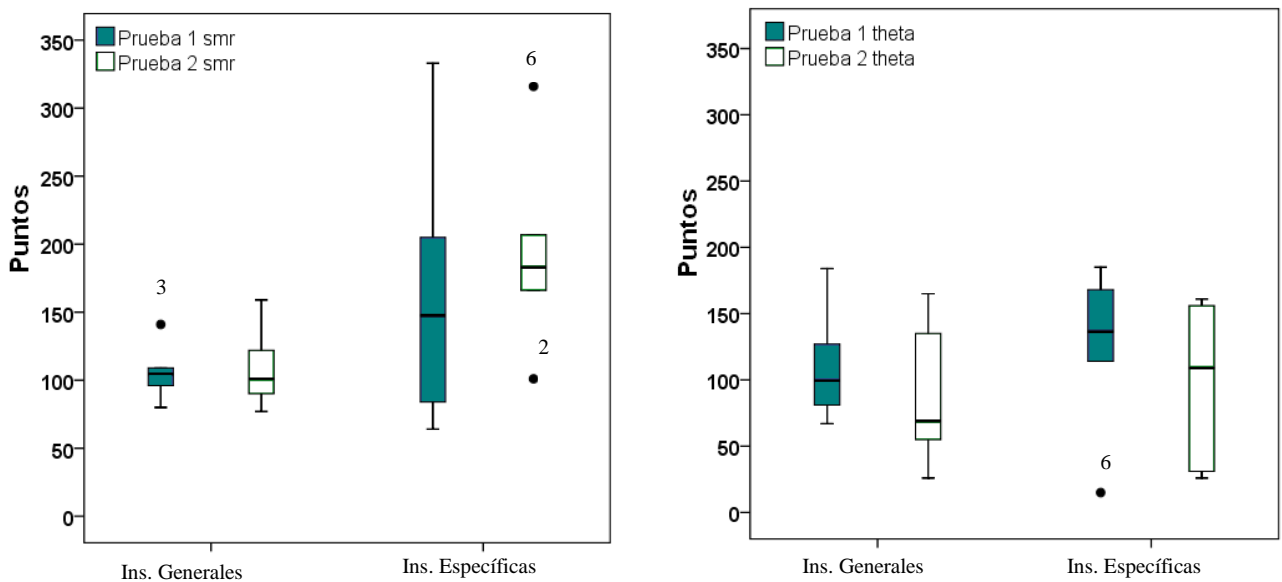


Figura 22. Muestra la comparación de los puntos obtenidos por grupo y por prueba. Los puntos en la graficas representan valores extremos que están entre 1.5 y 3 rango intercuartil.



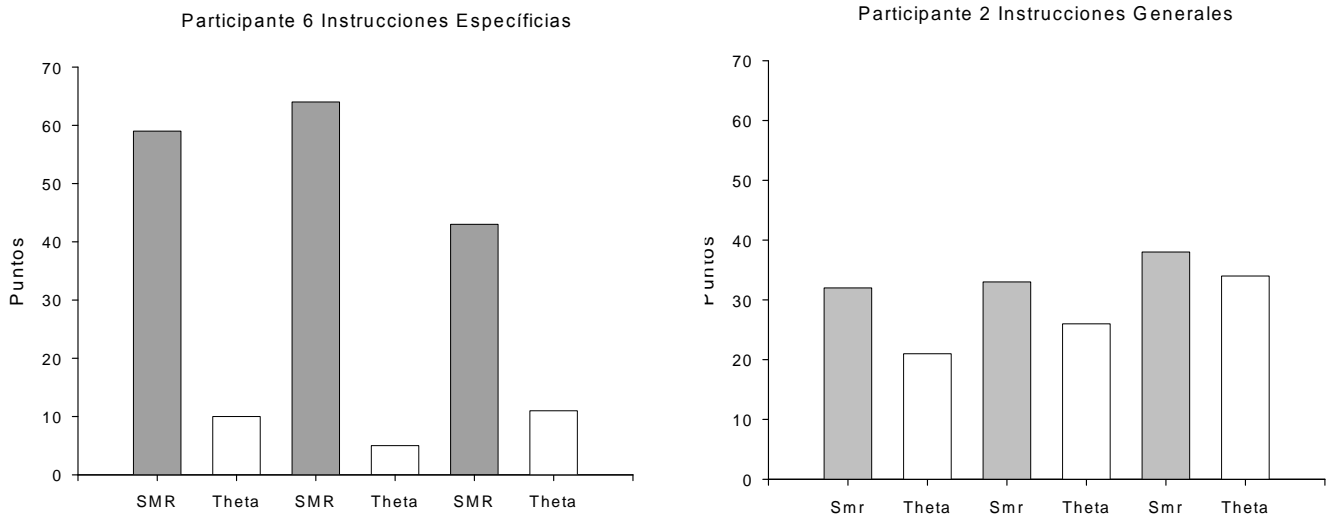


Figura 23. Ejecución dos participantes durante la fase de Pruebas.

La Figura 23 ilustra una comparación de la ejecución de dos sujetos durante la fase de Pruebas sin retroalimentación. Los dos participantes lograron la adquisición del control durante el entrenamiento de SMR, sin embargo se puede apreciar una diferencia entre las ejecuciones de los dos participantes.

### Discusión

La ejecución de los participantes del grupo de Instrucciones Específicas sugiere que aprendieron a controlar el incremento de SMR durante el entrenamiento. Los participantes de este grupo obtuvieron 248 puntos más en promedio en la sesión final con respecto a la sesión inicial. Si los participantes conseguían un punto por cada segundo y medio que cumplían con el criterio requerido, el hecho de haber obtenido esa cantidad de puntos más en promedio permite establecer que los participantes cumplieron con el criterio alrededor de 6.2 minutos más en la última sesión del entrenamiento. En contraste, el grupo de Instrucciones Generales sólo tuvo un

incremento de 56 puntos con respecto a su última sesión. Sin embargo, esta diferencia no fue significativa. Estos resultados apoyan lo reportado por Baron, Kaufman y Stauber (1969), en donde las instrucciones generaban, mantenían y hacían más efectiva la respuesta operante de los sujetos.

Dado que el arreglo contingencial fue el mismo en el programa de reforzamiento para ambos grupos, es posible sugerir que el grupo de Instrucciones Específicas estuvo bajo un control instruccional más efectivo, en comparación con el grupo de Instrucciones Generales en donde su ejecución estuvo controlada sólo por las contingencias y no logró controlar el incremento de SMR. Estos datos corresponden a lo reportado por Martínez, Ortiz y González (2002) acerca de que el control instruccional será óptimo si las instrucciones corresponden con las consecuencias obtenidas, observándose una alta ejecución en instrucciones específicas y una baja ejecución instrucciones inespecíficas.

Estos resultados también concuerdan con lo reportado por Kaufman, Baron y Kopp (1966) en donde el grupo que fue instruido y se le daba la información sobre el programa de reforzamiento, en este caso el grupo llamado Instrucciones Específicas, tuvo una ejecución con una tasa de respuesta más alta y menores tiempos de latencia.

Aún cuando a los dos grupos se les informó cual era el criterio de logro, la precisión de las instrucciones jugaron un rol central en la diferencia de la ejecución de los grupos, estos datos corresponden con los reportados por Martínez y Tamayo (2005) en donde la información descrita en las instrucciones generaba cambios en la ejecución de los sujetos.

Una de las demostraciones de la efectividad del control instruccional que se observa en el análisis entre grupos del entrenamiento de SMR se hace evidente en el Grupo que recibió Instrucciones Específicas, ya que alcanzó 160 puntos más en promedio en la sesión final lo que se traduce en 4 minutos más por sujeto cumpliendo con el criterio de

eficacia. Estos resultados también apoyan lo reportado por Martínez y Tamayo (2005) y Buskist y Miller (1986), en donde la precisión de las instrucciones mantenían y hacían más efectiva la respuesta operante de los sujetos.

No se encontraron diferencias significativas en el entrenamiento de Theta tanto para el grupo de Instrucciones Específicas como para el grupo de Instrucciones Generales. Este resultado podría cuestionar el nivel de precisión de las Instrucciones Específicas puesto que en la descripción del arreglo contingencial se les informó a los participantes que una de las barras *“muestra la actividad asociada con un estado de adormecimiento”*. Una posibilidad es que la descripción puede generar “ambigüedad” en los participantes y por lo tanto generar variabilidad en las respuestas de los sujetos. Este efecto en la ambigüedad de las instrucciones ha sido documentado con los datos que reportaron Martínez y Tamayo (2005) en donde los sujetos que tenían una historia instruccional verdadera con una alta tasa de respuesta cuando se cambió a una instrucción verdadera pero ambigua, el rendimiento de los sujetos decreció.

Además, la actividad Theta también se ha relacionado con otros tipos de procesos. Por ejemplo, algunos de índole emocional e incluso con procesos cognitivos. Por esta razón, se sugiere que la ambigüedad pudo generar una “comprensión” falsa de las contingencias. De ser así la falta de precisión en las instrucciones restó control sobre el desempeño de los sujetos. Esto ya ha sido planteado por Buskist y Miller (1986) en una situación en la que las instrucciones al no ser directamente contrarias a las contingencias siguieron controlando la ejecución de los sujetos. Sin embargo, en nuestro estudio el grupo de Instrucciones Específicas obtuvo 58 puntos más en promedio con respecto a su inicio, en cambio el grupo de Instrucciones Generales empeoró su ejecución durante el entrenamiento al obtener menos 30 puntos en promedio.

El grupo de Instrucciones Específicas obtuvo 72 puntos más en promedio que el grupo de instrucciones Generales, lo que equivale a 1.6 minutos en promedio por participante cumpliendo con el criterio de eficacia. Esta tendencia mostrada por el grupo de Instrucciones Específicas podría sugerir que si bien las instrucciones empleadas pudieron ser poco precisas, por lo menos tuvieron un cierto nivel informativo ya que se explicaba que el arreglo contingencial era diferente al entrenamiento de SMR, por lo que puede haber una facilitación para que los sujetos sean sensibles a las contingencias del entrenamiento. Esto podría ser ilustrado por el desempeño de S11 quien tuvo una tasa de respuesta muy baja en comparación con el resto de los participantes del grupo de Instrucciones Específicas, lo que podría sugerir que ante la ambigüedad de las instrucciones el sujeto no fue sensible a las contingencias.

Las pruebas consistieron en una serie de ensayos de SMR seguidos por ensayos de Theta, en las cuales el arreglo contingencial no permitió ninguna neuroretroalimentación y tuvieron por objetivo evaluar el efecto de las instrucciones sobre el entrenamiento y sobre el establecimiento de un control discriminativo efectivo. En los resultados se encontró una diferencia significativa en el grupo de Instrucciones Específicas en la segunda prueba durante los ensayos de SMR, siendo coherentes con los resultados encontrados en el análisis del entrenamiento de SMR, dado que el grupo de Instrucciones Específicas aprendió a controlar el incremento de SMR durante el entrenamiento y tuvo una diferencia significativa con respecto al desempeño del grupo de Instrucciones Generales. De esta manera, parecería que se logró establecer un control discriminativo efectivo de SMR

En contraste, la baja tasa de respuesta en los ensayos de Theta podría deberse a que ninguno de los dos grupos evidenció un control discriminativo efectivo en el

entrenamiento de Theta. A su vez, la falta de un control instruccional efectivo propició o interfirió con el hecho de que no hubiera una discriminación efectiva.

Tomando en conjunto los resultados del presente estudio se puede concluir que el entrenamiento en SMR fue más efectivo cuando los participantes recibieron las Instrucciones Específicas pero no cuando fueron expuestos a las instrucciones Generales. La técnica de neuroretroalimentación parece ser efectiva bajo ciertas condiciones que incluyen la especificación de las instrucciones. Una limitante de los alcances de esta investigación la constituye el hecho de que la actividad Theta no quedó bajo el control de ninguna de las instrucciones. Sin embargo, una posible ambigüedad de las instrucciones pudo ser la variable que influyó para esta ausencia de control. Otra posible fuente de variabilidad podría ser la diferencia entre los tipos de actividad registrada. El ritmo sensoriomotor fue sensible al procedimiento empleado mientras que la actividad Theta pareció ser menos sensible. Una mayor investigación en este campo controlando la especificación e informatividad de las instrucciones nos permitiría descartar esta variable como fuente de control no deseable. Adicionalmente, se podría indagar si otro tipo de actividad cerebral es sensible a la técnica de neuroretroalimentación bajo estas condiciones y sus posibles aplicaciones en el ámbito clínico.

## Referencias Bibliográficas

- Ader, R. y Tatum, R. (1961) Free-operant a voidance conditioning in human subjects. *Journal of Experimental Analysis Behavior*. 4, 275-276.
- Angelakis, E., Stathopoulou, S., Frymiare, J., Green, D., Lubar, J., y Kounios, J. A. (2004). Brief overview and an example of peak alpha frequency training for cognitive enhancement in the elderly. *The Clinical Neuropsychologist*, 1-39.
- Aftanas, L. I., y Golocheikine, S. A. (2001) Human anterior and frontal midline Theta and lower alpha reflect emotionally positive state and internalizad attention: high-resolution EEG investigation of meditation. *Neuroscience Letter*, 310, 57-60.
- Baron, A. y Kaufman, A. (1966) Human free-operant avoidance of "time out" from monetary reinforcement. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 9, 557-565.
- Baron, A., Kaufman, A., y Stauber, K. A. (1969). Effects of instructions and reinforcement-feedback on human operant behavior maintained by fixed-interval reinforcement. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 12, 701-712.
- Baron, A., y Galizio, M. (1983). Instructional control of human operant behavior. *The Psychological Record*. 33, 495-520.
- Blacnchard, E. B. y Andrasik, F. (1987). Biofeedback treatment of vascular headche disorders. *Journal of Consulting and Clinical Psychology*, 60 (4), 537-551.
- Berntson, G. G., Bigger, J. T., Eckberg, D. L., Grossman, P., Kaufmann, P. G., Malik, M., Nagaraja, H. N., Porges, S. W., Saul, J. P., Stone, P. H., y van der Molen, M. W. (1997). Heart rate variability: Origins, methods, and interpretive caveats. *Psychophysiology*, 34, 623-648.
- Buskist, W. y Miller, H. L. (1981) Effects of instructional constraints on human fixed-interval performance. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 35, 217-225

- Catania, A. C., Shimoff, E. y Matthews, B.A. (1989). An experimental analysis of rule-governed behavior. En: S.C. Hayes (Ed). Rule-governed behavior: Cognition, contingencies, and instructional control. USA: Plenum. Pp. 119-150.
- Conde, M. y Menéndez Fco. (2002) Revisión Sobre las Técnicas de biofeedback y sus aplicaciones. *Acción psicológica*, 2, 165-181.
- Cox, D. J., Kovatchev, B. P., Morris, J. B., Phillips, Jr. Ch., Hill, R. J. y Merkel, L. (1998). Electroencephalographic and psychometric differences between boys with and without attention-deficit/hyperactivity disorder (ADHD): A pilot study. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 23 ( 3), 179 – 188.
- Demos, J. (2005). *Getting started with neurofeedback* (1a ed.). New York.
- Egner, T., Strawson, E., y Gruzelier, J. H. (2002). EEG signature and phenomenology of alpha/Theta neurofeedback training versus mock feedback. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 27 (4), 261-270
- Fernández-Harmony, T. (2006). La neuroretroalimentación como alternativa de tratamiento en el trastorno por déficit de atención con hiperactividad. En: A. González y J. Ramos (Ed). La atención y sus alteraciones: del cerebro a la conducta. México: Manual Moderno, 243-258.
- Fuller, G. (1984). *Biofeedback: Methods and procedures in clinical practice*. San Francisco: Biofeedback Press.
- Furedy, J. J. (1987). Specific versus placebo effects in biofeedback training: A critical lay perspective. *Biofeedback and Self-Regulation*, 12, 169-184.
- Guttman, N., y Kalish, H. I. (1956) Discriminability and stimulus generalization. *Journal of experimental psychology*, 51, 79-88
- Harzem, P., Lowe, C.F. y Bagshaw, M. (1978). Verbal control in human operant behavior. *The Psychological Record*, 28, 405-423.

- Howe, R. C., & Serman, M. B. (1972). Cortical-subcortical EEG correlates of suppressed motor behavior during sleep and waking in the cat. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 32, 681–695.
- Howe, R. C., & Serman, M. B. (1973). Somatosensory system evoked potentials during waking behaviour and sleep in the cat. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 34, 605–618.
- Joyce, J. H. y Chase, P. N. (1990). Effects of response variability on the sensitivity of rule-governed behavior. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 54, 251-262.
- Kaiser, D., y Othmer, S. (1997). Efficacy of SMR-Beta Neurofeedback for Attentional Processes. *EEG Spectrum*, 5, 15 - 21
- Kotchoubey, B., Busch, S., Strehl, U. y Birbaumer, N. (1999). Changes in EEG Power Spectra During Biofeedback of Slow Cortical Potentials in Epilepsy. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 24( 4), 213- 233.
- Kropotov, J., Grin-Yatsenko, V., Ponomarev, V., Chutko, L., Yakovenko, E., y Nikishena, I. (2004). Erps correlates of eeg relative beta training in adhd children. *International Journal of Psychophysiology*, 55, 23-34.
- Kaufma, A., Baron, A., y Kopp, R. E. (1966). Some effects of instructions on human operant behavior. *Psychonomic Monograph Supplements*, 1, 243-250.
- Kleiger, R.E., Miller, J.P., Bigger, J.T., y Moss, A.J. (1987). Decreased heart rate variability and its association with increased mortality after acute myocardial infarction. *American Journal of Cardiology*, 59 (4): 256–262.
- Klimesch, W., EEG alpha and Theta oscillations reflect cognitive and memory performance: a review and analysis. *Brain Research Review*, 29, 169–195.
- Jensen, O. y Tesche, C. (2002) Frontal Theta activity in humans increases with memory load in a working memory task. *European Journal of Neuroscience*. 15, 1395-1399.



- Lubar, J. F. (2003). Neurofeedback for the management of attention Deficit disorders. En Schwartz, M. y Andrasik, F. (2003), *Biofeedback a practitioner's guide* (Third ed.), New York: The Guilford Press. 409-437.
- Lantz, D., y Sterman, M. B. (1988). Neuropsychological assessment of subjects with uncontrolled epilepsy: Effects of EEG biofeedback training. *Epilepsia*, 29(2), 163–171.
- LeFrancois, J. R., Chase, P. N., y Joyce, J. H. (1988) The effects of a variety of instructions on human fixed-interval performance. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior* 49, 383-393
- DiCara, L. V., & Miller, N. E. (1969). Heart-rate learning in the noncurarized state, transfer to the curarized state, and subsequent retraining in the noncurarized state. *Physiology and Behavior*, 4, 621-624.
- Martínez, H. y Ribes, E. (1996). Interactions of contingencies and instructional history on conditional discrimination. *The Psychological Record*, 46, 301-318.
- Martínez, H. y Tamayo, R. (2005) Interactions of contingencies, instructional accuracy, and instructional history in conditional discrimination *The Psychological Record* 55, 633-646
- Martínez, H., Ortiz, G. y González, A. (2007). Efectos diferenciales de instrucciones y consecuencias en ejecuciones de discriminación condicional humana. *Psicothema*. 19, 14-22.
- Martínez, H., Ortiz, G. y González, A. (2002). Precisión instruccional, retroalimentación y eficacia: Efectos sobre el entrenamiento y transferencia en una tarea de discriminación condicional. *Acta Colombiana de Psicología*, 8, 7-33.
- Millenson, J. R. (1967). *Principles of Behavioral Analysis*. New York. 225-250

- Monastra, V.J. (2003). Clinical applications of electroencephalographic biofeedback. En M. S. Schwartz y F. Andrasik (2003), *Biofeedback: A Practitioner's Guide*. (Third ed.) New York: The Guilford Press. 438-463.
- Monastra, V. J., Lynn, S., Linden, M., Lubar, J. F., Gruzelier, J. y LaVaque, T. J. (2005). Electroencephalographic biofeedback in the treatment of attention-deficit/hyperactivity disorder. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 30 (2), 95- 114
- Ribes, E., y Rodríguez, M. E. (2001). Correspondence between instructions, performance, and self-descriptions in a conditional discrimination task: The effects of feedback and type of matching response. *Psychological Record*, 51, 309-333.
- Reynolds, G. S. (1961). An analysis of interactions in a multiple schedule. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 4, 107-117.
- Schwartz, M., y Olson, P. (2003). A historical perspective on the field of biofeedback and applied psychophysiology. En Schwartz, M. y Andrasik, F. (2003), *Biofeedback a practitioner's guide* (Third ed.), New York: The Guilford Press. 3-19.
- Schwartz, M., y Schwartz, N. (2003). Definitions of biofeedback and applied psychophysiology. En Schwartz, M. y Andrasik, F. (2003). *Biofeedback a practitioner's guide* (Third ed.), New York: The Guilford Press. 27-39.
- Sterman, M. B., y Egner, T. (2006). Foundation and practice of neurofeedback for the treatment of epilepsy. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 1, 21-35.
- Sterman, M. B. (2000). Basic concepts and clinical findings in the treatment of seizure disorders with EEG operant conditioning. *Clinical Electroencephalography*, 31(1), 45–55.
- Sterman, M. B. y Friar, L. (1972) Suppression of seizures in an epileptic following sensorimotor eeg feedback training. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*. 33, 89-95.

- Sterman, M. B., y MacDonald, L. R. (1978). Effects of central cortical EEG feedback training on incidence of poorly controlled seizures. *Epilepsia* 19, 207–222.
- Sterman, M. B., MacDonald, L. R., y Stone, R. K. (1974). Biofeedback training of the sensorimotor EEG rhythm in man: Effects on epilepsy. *Epilepsia*. 15, 395–417.
- Sterman, M. B. (2010) Biofeedback in the treatment of epilepsy. *Cleveland clinic journal of medicine*, 77, 60-67
- Thompson, M., y Thompson, L. (2003). *The neurofeedback book*. Toronto: Canada AAPB.
- Thompson, L. y Thompson, M. (1998). Neurofeedback combined with training in metacognitive strategies: Effectiveness in students with ADD. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*. 23( 4), 243-263.
- Okouchi, H. (1999). Instructions as discriminative stimuli. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 72, 205-214.
- Olivares, J., Sánchez, J., y Rosa, A. (1998) La eficacia del biofeedback en problemas de salud en España: Una revisión meta-analítica. *Revista de Psicología de la Salud*, 10, 49-73
- Schacter, D. L. (1977). EEG Theta waves and psychological phenomena: A review and analysis. *Biological Psychology*, 5, 47–82.
- Pizzagalli, D. A., Oakes, T. R., y Davidson, R. J. (2003). Coupling of Theta activity and glucose metabolism in the human rostral anterior cingulate cortex: An EEG/PET study of normal and depressed subjects. *Psychophysiology*, 40, 939–949.
- Wyrwicka, W., & Sterman, M. B. (1968). Instrumental conditioning of sensorimotor cortex EEG spindles in the waking cat. *Physiology and Behavior*, 3, 703–707.