



UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

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

INSTITUTO DE NEUROCIENCIAS

DIFERENCIAS SEXUALES EN EL DESARROLLO DE HABILIDADES DE NAVEGACIÓN ESPACIAL EN ENTORNOS VIRTUALES COMPLEJOS

Tesis

que para obtener el grado de

DOCTOR EN CIENCIAS DEL COMPORTAMIENTO
(OPCIÓN NEUROCIENCIAS)

presenta

LUIS MIGUEL SÁNCHEZ LOYO

Comité tutelar

Dra. Julieta Ramos Loyo (Directora)

Dra. María Corsi Cabrera

Dra. Esmeralda Matute Villaseñor

Dr. Andrés Antonio González Garrido

Agradecimientos

Terminar una tesis doctoral es producto de la suma de esfuerzos y voluntades de muchos actores en diversas instancias. Agradezco a todos los que hicieron posible este proyecto. El logro es compartido.

A la Dra. Julieta Ramos Loyo, directora del proyecto, por su paciencia y dedicación, por lograr lo mejor de mí, llevándome a involucrarme en proyectos con los cuales no habría siquiera soñado.

A la Dra. María Corsi Cabrera, Dra. Esmeralda Matute Villaseñor y al Dr. Andrés González Garrido, por sus valiosos consejos y retroalimentaciones al proyecto como miembros de mi comité tutorial y amigos.

A los Lic. Miguel Ángel Martínez, Rocío Barajas, Juan Pablo Álvarez Tostado, Cristina Aldana, Víctor Hernández y Armando Martínez, colaboradores y entrañables amigos, que contribuyeron en el procesamiento de datos.

A Samuel Castillo, por su invaluable e incondicional apoyo y asesoría técnica en la adecuación y operación de los equipos de cómputo, imprescindibles en este trabajo.

A la Mtra. Claudia Amezcua y la Lic. Griselda Silva, compañeras en el laboratorio, con quienes el intercambio de experiencia e información siempre ha sido prolífico.

Al Dr. Eduardo Ángel Madrigal De León, al Lic. Fernando González Bolaños, al M.V.Z. Uriel Nuño y al Lic. Joaquín Mata Maldonado, Director, Secretario, Oficial Mayor Académico y Oficial Mayor Administrativo, respectivamente, de la Escuela Preparatoria Número 5 de la Universidad de Guadalajara, quienes dieron la anuencia y facilitaron la logística para la implementación del proyecto en las instalaciones y con el alumnado de esta entrañable institución.

A la Lic. Angeles Iturralde Garcia y al Lic. Juan Real Ledesma compañeros profesores de la Escuela Preparatoria Número 5, quienes apoyaron en el acercamiento a los alumnos de la escuela.

A los más de 500 alumnos de Escuela Preparatoria Número 5 que amable y entusiastamente decidieron participar en el proyecto, dedicando tiempo y esfuerzo extra aula.

A la Dra. Aidee Uribe González y la Dra. Teresita Villaseñor Cabrera, mis amigas y jefas en el Departamento de Neurociencias del Centro Universitario de Ciencias de la Salud de la Universidad de Guadalajara, quienes en distintos momentos, me animaron y pusieron todo su empeño en facilitarme el cumplir con el proyecto.

A mi esposa y mis hijas quienes fueron víctimas de mis ausencias físicas y mentales, del tiempo robado a la convivencia, animándome aún a pesar de ir en contra de sus deseos dando prioridad a los míos.

Al resto de mi familia que me animaron e interesaron en verme cumplir un sueño más.

A todos mil gracias

Resumen

El objetivo del presente trabajo fue identificar las diferencias sexuales en el desempeño, las estrategias y el EEG durante tareas de navegación espacial antes y después de entrenar habilidades de navegación.

Experimento 1. Se evaluó la ejecución y estrategias durante la navegación espacial en realidad virtual inmersiva para llegar a lugares blanco, en dos entornos desconocidos, uno con marcas y otro sin ellas. Los hombres mostraron una ejecución más eficiente que las mujeres. Las mujeres navegaron con base en la ubicación de marcas y el conteo de calles y los hombres, además utilizaron coordenadas cartesianas.

Experimento 2. Se evaluó la ejecución, las estrategias y el EEG antes y después de un entrenamiento de navegación espacial. Participaron hombres y mujeres con un nivel semejante de habilidades de navegación. En la sesión post-entrenamiento el desempeño conductual mejoró en ambos sexos. En el EEG se observó un incremento en la correlación interhemisférica en las mujeres entre las regiones posteriores y en los hombres se incrementó la correlación intrahemisférica entre las regiones anteriores y posteriores. Estos cambios fueron diferenciados en función del entorno.

En conclusión, los hombres y mujeres utilizan distintas estrategias para ubicarse en entornos desconocidos que pudieran explicar las diferencias en la ejecución. La utilización de coordenadas por los hombres parece permitir una mejor ubicación espacial, activando más la vía parieto-temporo-frontal. La utilización de marcas por las mujeres, requiere de una mayor participación de recursos ejecutivos centrales (atención y memoria de trabajo), activando más la vía parieto-frontal.

Summary

The aim of this study was to identify sexual differences in performance, strategies and EEG during navigation tasks before and after training navigation skills.

Experiment 1. Performance and strategies during navigation wayfinding tasks in immersive virtual reality were evaluated, at two unknown environments, one with landmarks and other one without them. Men's performance was more efficient than women's. Women navigated using landmarks location and counting streets while men, in addition used cartesian coordinates.

Experiment 2. Performance, strategies and EEG before and after a navigation skills training were evaluated. Men and women with similar performance level in navigation tasks participated. In post training session, performance improved in both sexes. In the post training session there were changes in the EEG. Interhemispheric correlation increased between posterior areas in women. On the other hand, intrahemispheric correlation increased between anterior and posterior areas. These changes were different in each environment.

In conclusion, men and women used different strategies to navigate in unknown environments that could explain the differences in the performance on this type of tasks. Apparently, the use of coordinates by men, allows them to have a better performance in spatial navigation, activating more the parieto-temporo-frontal pathway. The used of landmarks by women, needs a major participation of executive central processes (attention and working memory), activating more the parieto-frontal pathway.

Anexo A1

Cuestionario de historia clínica

Lee con detenimiento y anota de la mejor manera posible los datos que se te solicitan. Si tienes alguna duda pregunta al aplicador. En caso de no saber la respuesta, anota "no sé".

Datos Generales

Nombre	Domicilio	Teléfono
Fecha de nacimiento	Edad	Sexo
Semestre que cursa	Estado Civil	
Empleo actual	Empleos anteriores	

Antecedentes de desarrollo

Duración del embarazo hasta el momento del parto (en meses)

Tipo de parto (Natural, Cesarea, Forceps)

Complicaciones durante el nacimiento (menciona cuáles)

Edad a la que caminaste (meses) Edad a la que hablaste (meses)

Edad a la avisaste para ir al baño (meses)

Hospitalizaciones prolongadas (Si-No, Motivos)

Caídas o heridas (menciona la circunstancia y las lesiones que sufriste)

Golpes en la cabeza (menciona la forma en la que te golpeaste y las lesiones que sufriste)

Perdidas del estado de conciencia (Menciona las circunstancias en las que sucedió y la duración en que estuviste inconsciente)

Convulsiones (Frecuencia) Alergias (tipo)

Fiebres muy altas (motivo, los grados que tuviste y el tiempo que te duró la fiebre)

Enfermedades en la niñez y adolescencia (Tipo)

Intervenciones quirúrgicas (Motivo)

Enfermedades de la tiroides (edad que tenías y duración)

Enfermedades hormonales (edad que tenías y duración)

Enfermedades más frecuentes en los últimos años (Tipo)

Dolores de cabeza recurrentes (Frecuencia veces por día o semana)

Mareos recurrentes (frecuencia veces al día o por semana)

Medicamentos que ingieres actualmente (tipo y motivo)

Problemas para conciliar el sueño frecuentemente (frecuencia por día o por semana)

Problemas de sueño intranquilo o pesadillas frecuentes (frecuencia por día o por semana)

Anexo B1

Cuestionario sobre Consumo de sustancias

Selecciona la opción más adecuada por tus hábitos en el consumo de alguna de estas sustancias en los últimos seis meses. Subraya la respuesta acorde con tus hábitos. Recuerda ser honesto, toda la información será confidencial

Tabaco Si No

- a) Una cajetilla al día o más,
- b) quince cigarros al día,
- c) 5 a 10 cigarros diarios,
- d) Menos de cinco cigarros al día,
- e) un cigarro cada tercer día,
- f) un cigarro por semana o menos

e) menos de una vez al mes

Alcohol Si NO

- a) Dos veces por semana o más,
- b) Una vez por semana,
- c) cada quince días,
- d) cada mes,
- e) menos de una vez al mes

Marihuana Si NO

- a) Dos veces por semana o más,
- b) Una vez por semana,
- c) cada quince días,
- d) cada mes,
- e) menos de una vez al mes

Café Si No

- a) Dos tazas al día o más,
- b) Una taza al día,
- c) dos veces por semana,
- d) una vez por semana,
- e) cada quince días,
- f) una vez al mes o menos.

Cocaína Si NO

- a) Dos veces por semana o más,
- b) Una vez por semana,
- c) cada quince días,
- d) cada mes,
- e) menos de una vez al mes

Pastillas para dormir Si NO

- a) Dos veces por semana o más,
- b) Una vez por semana,
- c) cada quince días,
- d) cada mes,
- e) menos de una vez al mes

Cualquier droga ilícita Si NO

- a) Dos veces por semana o más,
- b) Una vez por semana,
- c) cada quince días,
- d) cada mes,
- e) menos de una vez al mes

Pastillas para los nervios Si NO

- a) Dos veces por semana o más,
- b) Una vez por semana,
- c) cada quince días,
- d) cada mes,

Pastillas del cualquier tipo sin prescripción médica

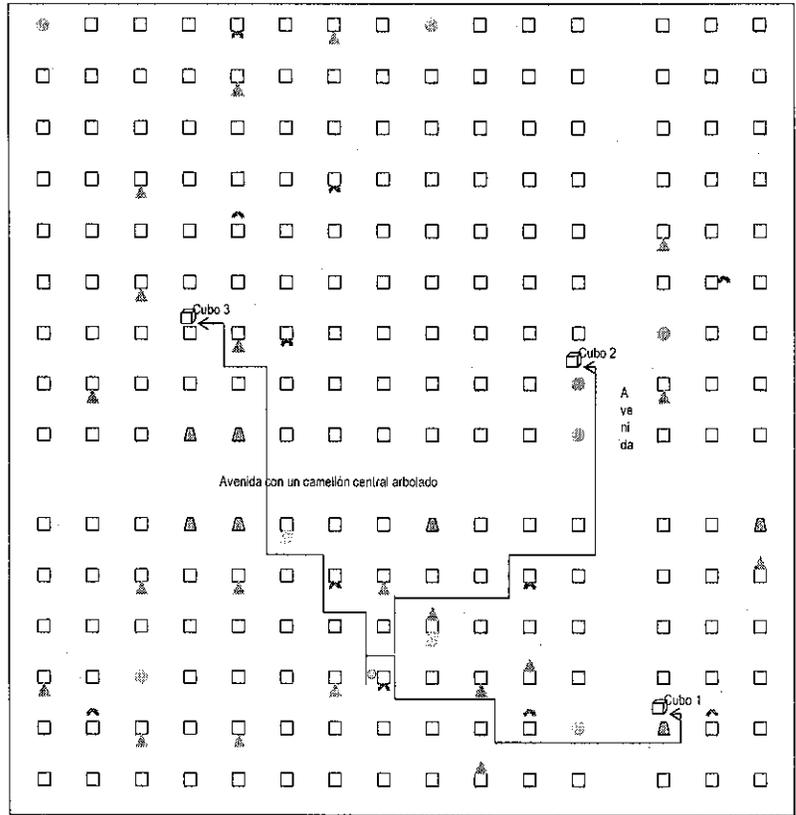
- a) Dos veces por semana o más,
- b) Una vez por semana,
- c) cada quince días,
- d) cada mes,
- e) menos de una vez al mes

Tipo:

ANEXO C1

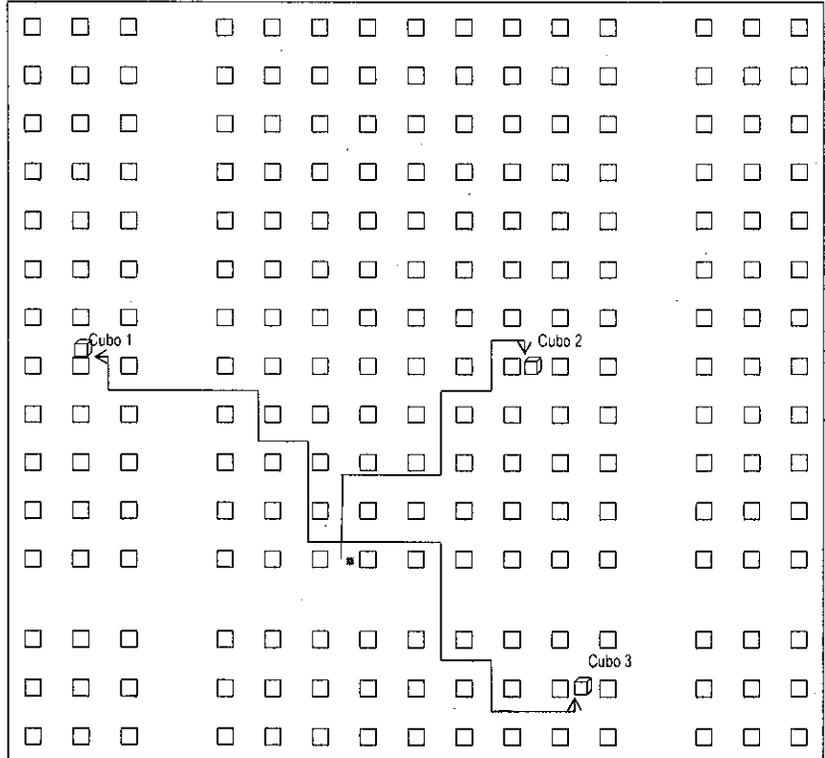
Entorno Virtual Con Marcas

-  Parque (7)
-  Torre (7)
-  Arbol (20)
-  Telefono (11)
-  Cajero (2)
-  Punto de partida (Lámpara)
-  Punto de partida (Lámpara)



Entorno Virtual Sin Marcas

-  Punto de Partida
-  Trayectorias Predeterminadas



Anexo D1

Escala Analógica de Evaluación de Estados Subjetivos

Nombre _____ Fecha _____

A continuación cruza una línea en el nivel que corresponda a tu impresión sobre la tarea y tu ejecución en ella. Le con cuidado los conceptos en los extremos.

Entorno con marcas

La tarea fue

Difícil _____ Fácil

Compleja _____ Simple

Mi ejecución fue

Mala _____ Buena

Entorno sin marcas

La tarea fue

Difícil _____ Fácil

Compleja _____ Simple

Mi ejecución fue

Mala _____ Buena

Anexo D1

Escala Analógica de Evaluación de Estados Subjetivos

Nombre _____

Fecha _____

A continuación cruza una línea en el nivel que corresponda a la intensidad de tu estado de ánimo al realizar la tarea. La extrema izquierda representa el nivel de menor intensidad y la extrema derecha el nivel de mayor intensidad.

Entorno con marcas

Me sentí

Atento - _____ +

Fastidiado - _____ +

Seguro - _____ +

Ansioso - _____ +

Interesado - _____ +

Entorno sin marcas

Me sentí

Atento - _____ +

Fastidiado - _____ +

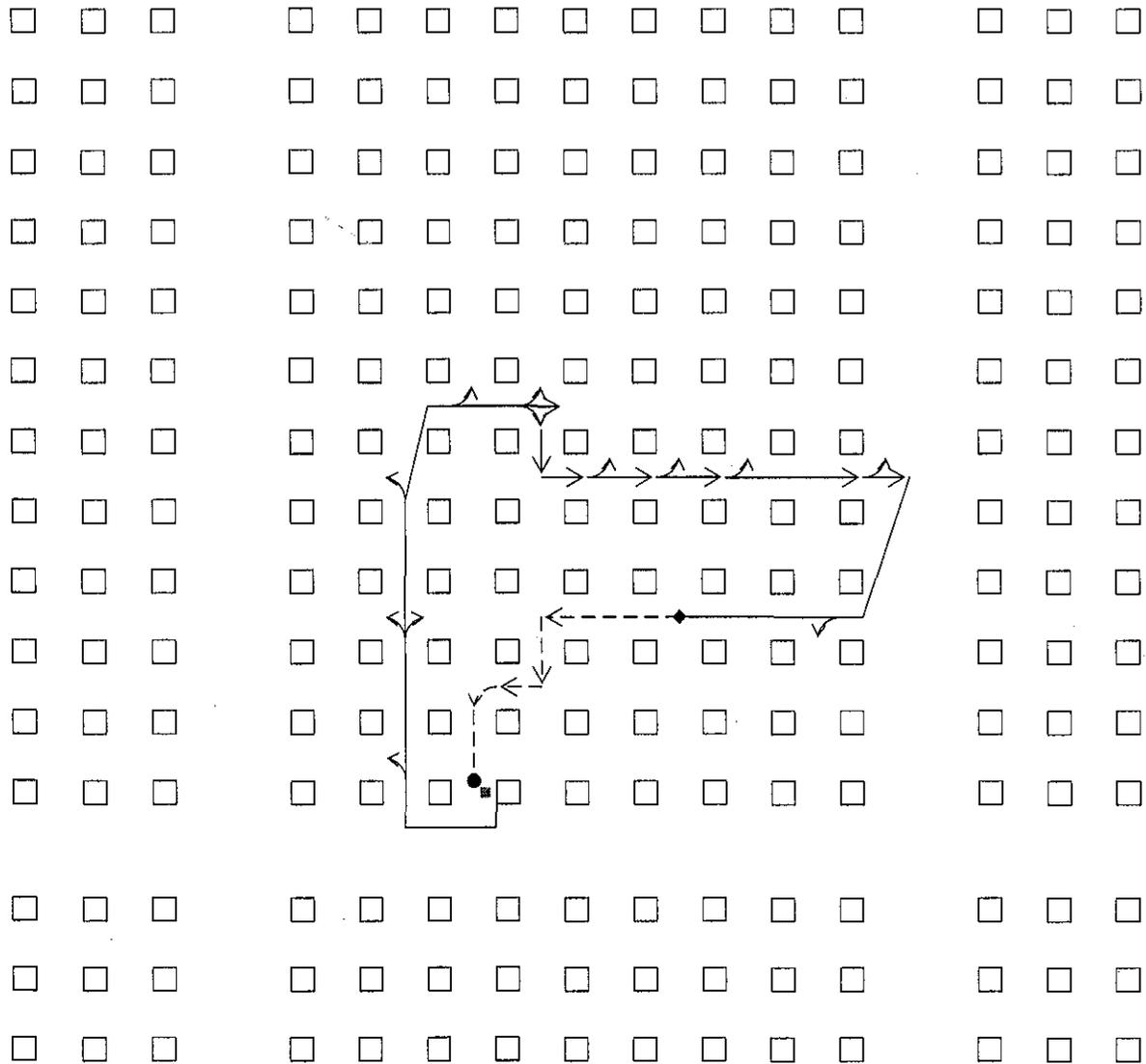
Seguro - _____ +

Ansioso - _____ +

Interesado - _____ +

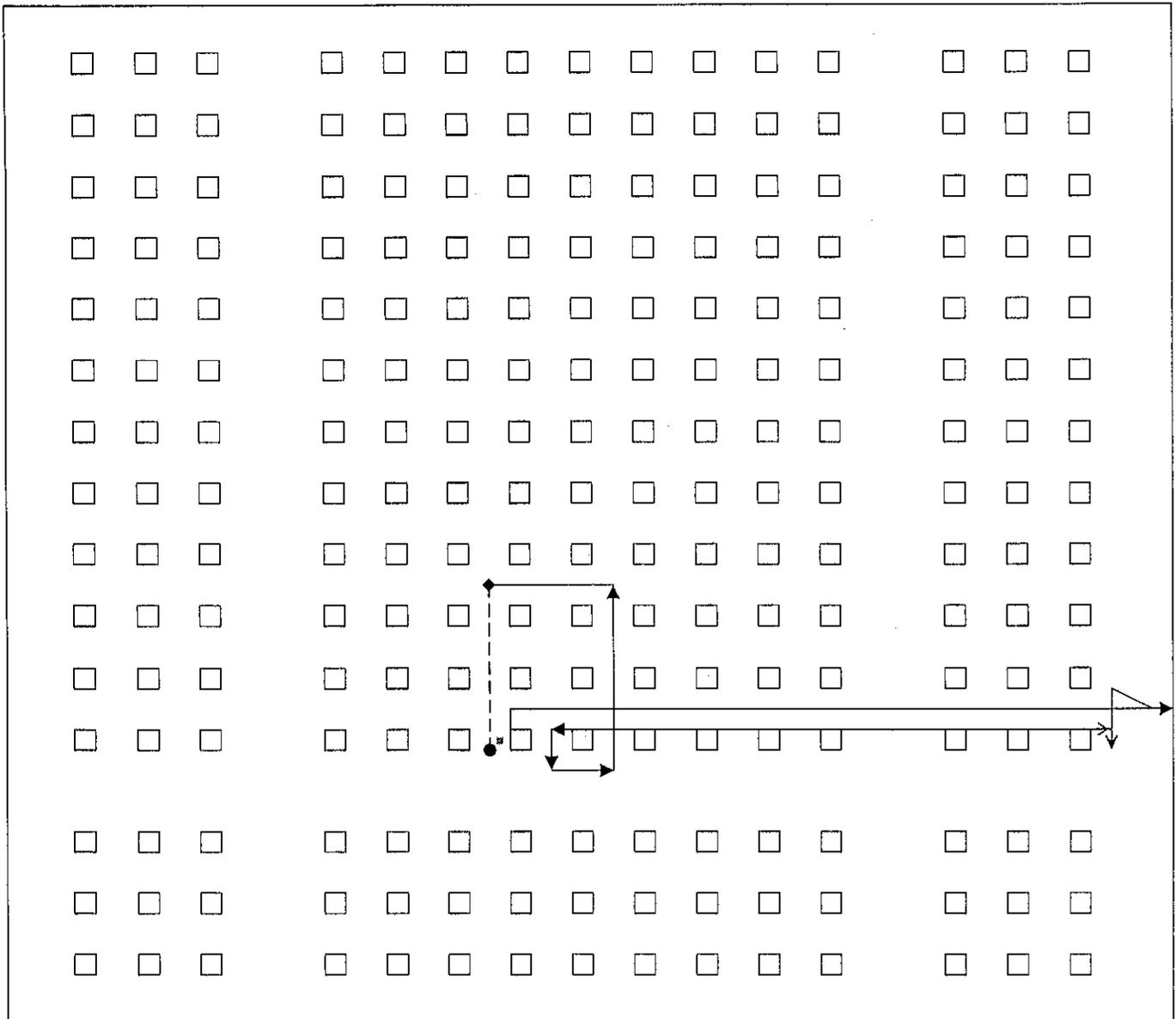
ANEXO E1

Establecimiento de coordenadas con base en las avenidas
Caminata Libre Entorno sin marcas



ANEXO E1

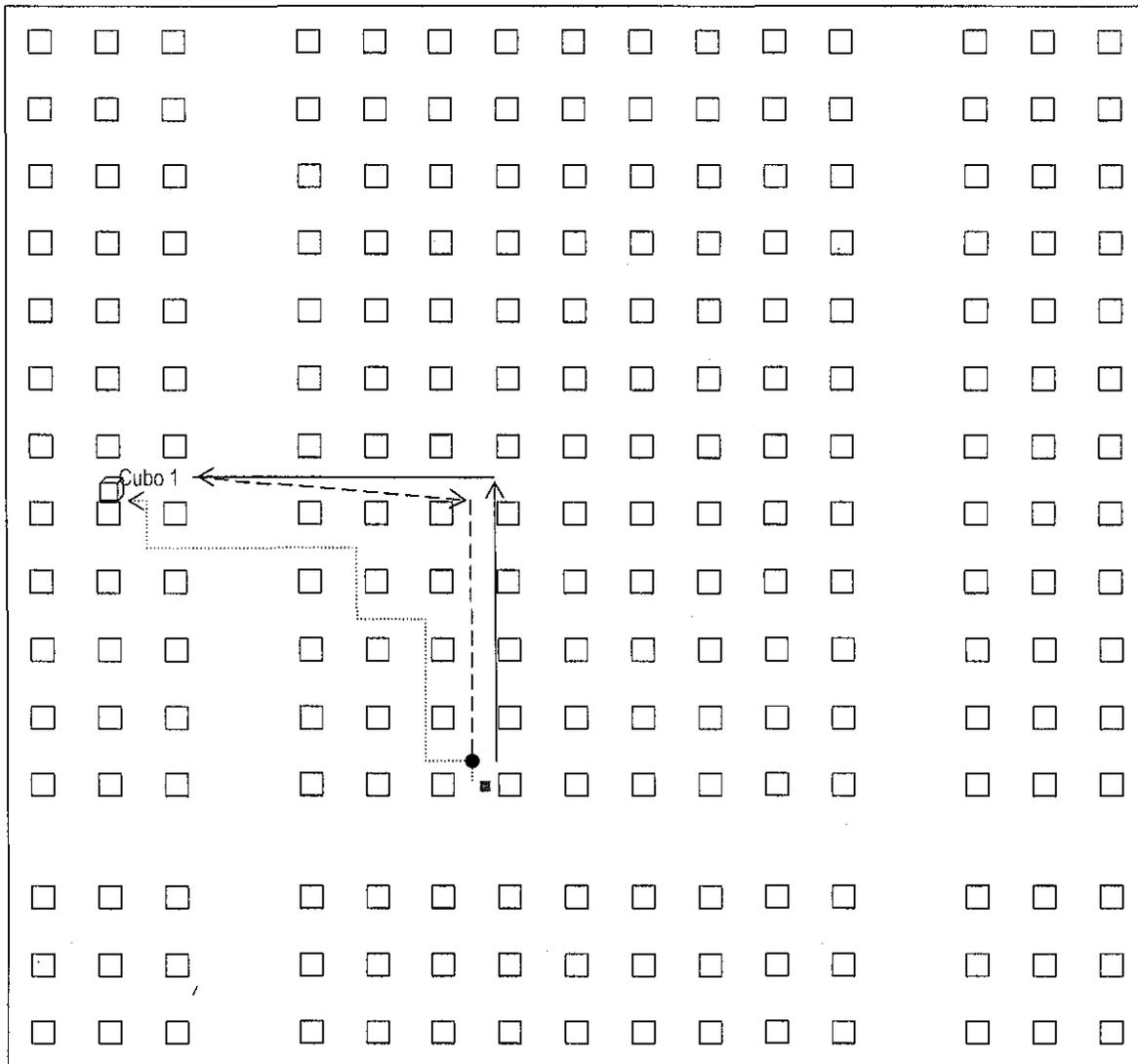
Establecimiento de coordenadas Caminata Libre Entorno sin marcas



-  Punto de partida
-  Trayectoria de ida
-  Trayectoria de regreso
-  Punto de regreso
-  Fin del trayecto

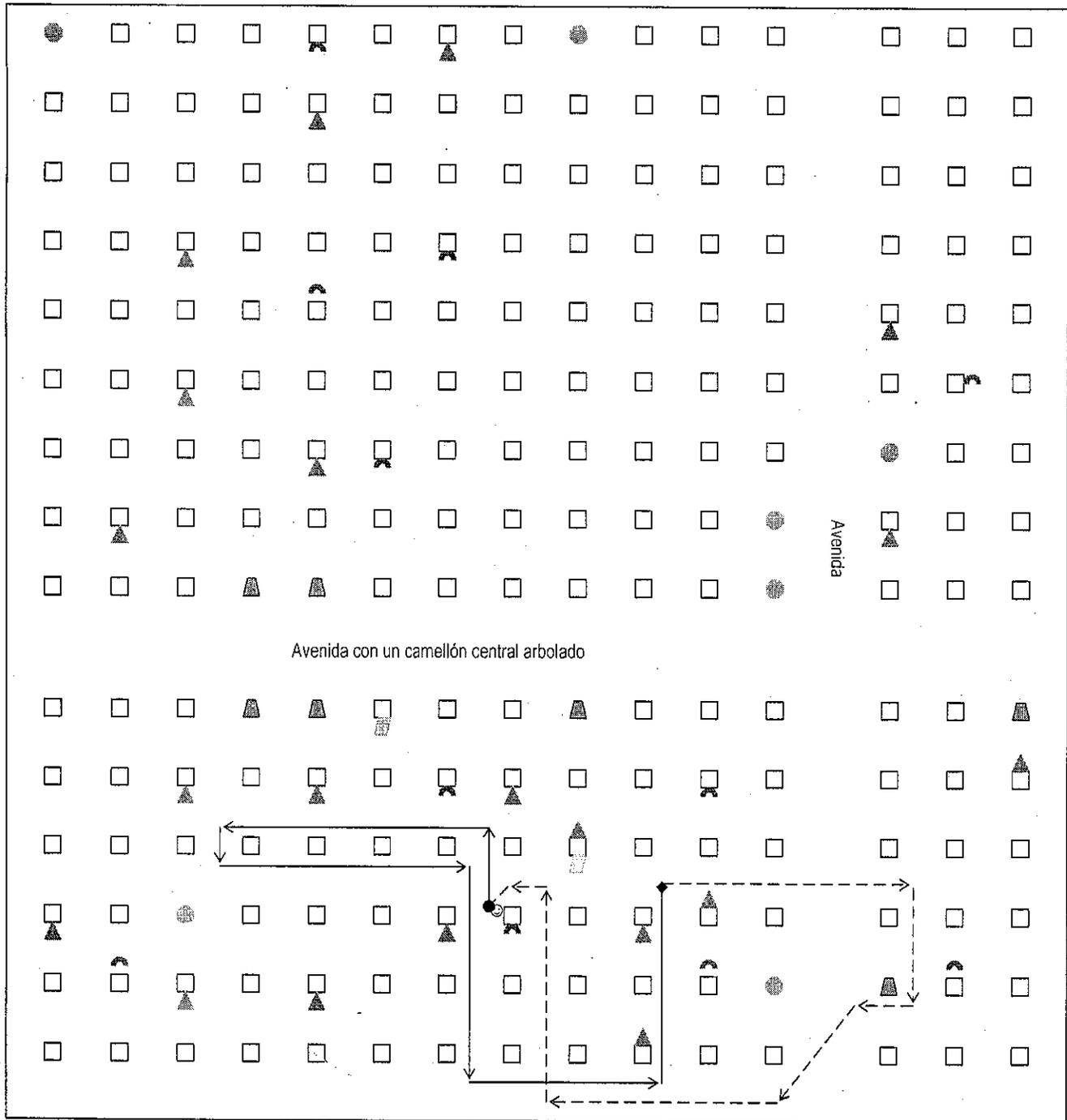
ANEXO E1

Ruta Directa al lugar blanco

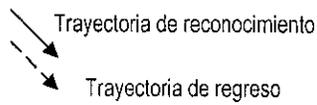


-  Punto de Partida
-  Trayectoria predefinida
-  Trayectoria de ida  Trayectoria de regreso
-  Punto de regreso

Ruta equivocada al lugar blanco

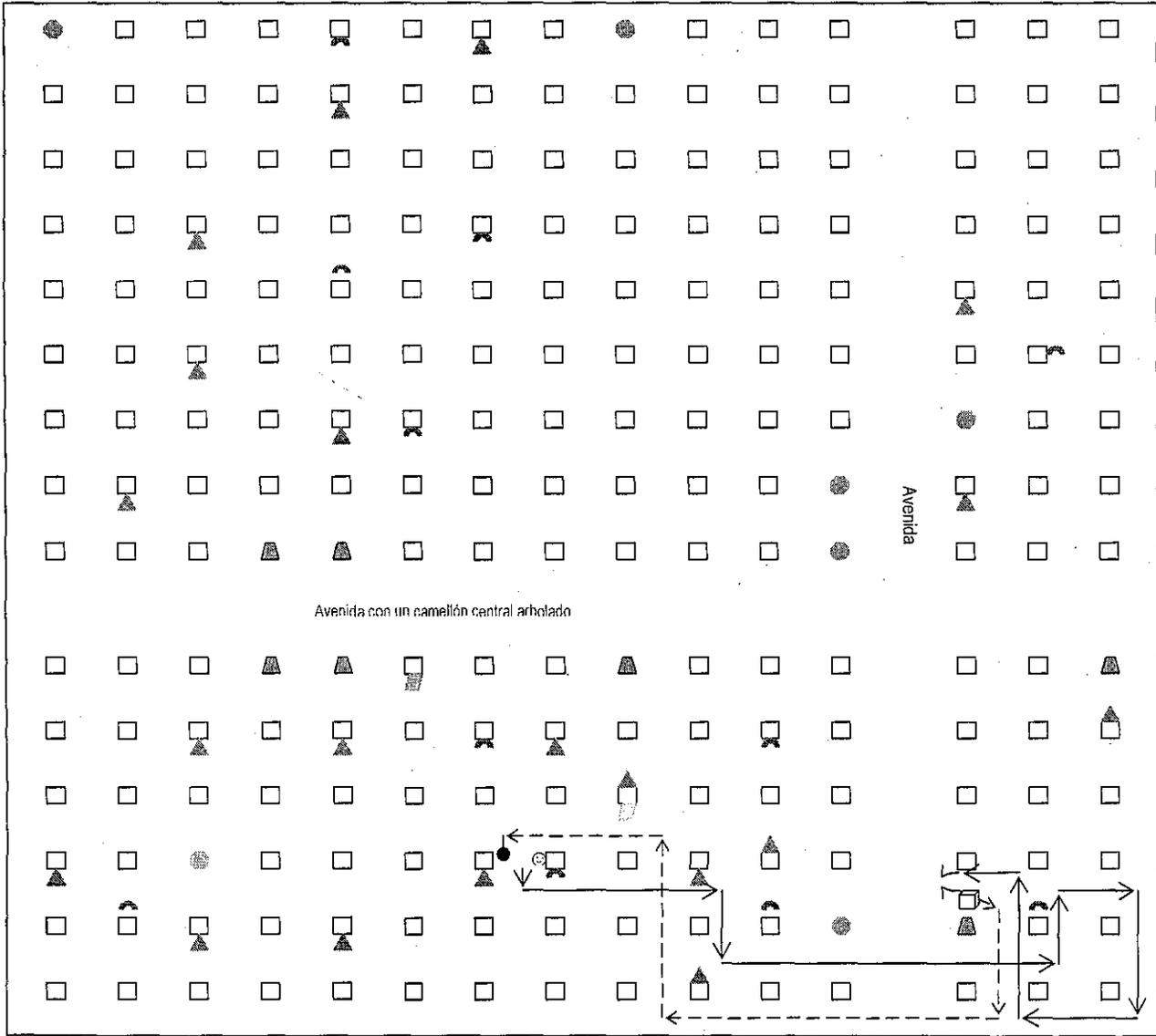


- Parque (7)
- ▲ Torre (7)
- ▲ Árbol (20)
- ☎ Teléfono (11)
- ⌘ Cajero (2)
- ⊙ Punto de partida

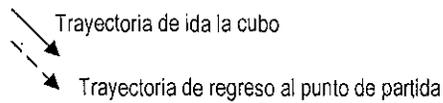


ANEXO E1

Estrategia de navegación mediante marcas
Caminata Libre, Entorno con Marcas

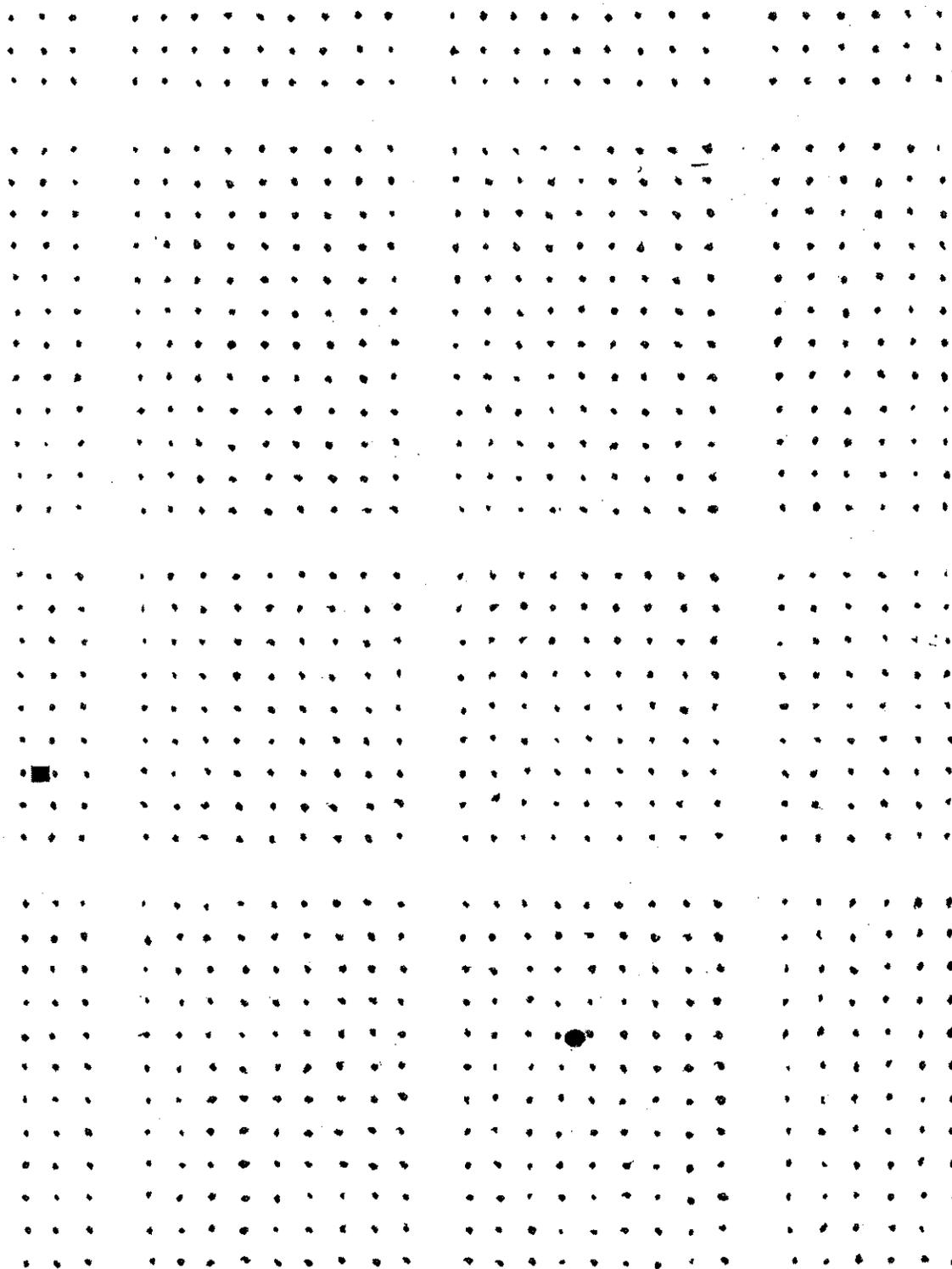


- Parque (7)
- ▲ Torre (7)
- ▲ Árbol (20)
- ☎ Teléfono (11)
- 🏧 Cajero (2)
- ☺ Punto de partida (Lámpara)



Anexo F1

Diseño del Entorno con Marcas, Sesión Post Entrenamiento

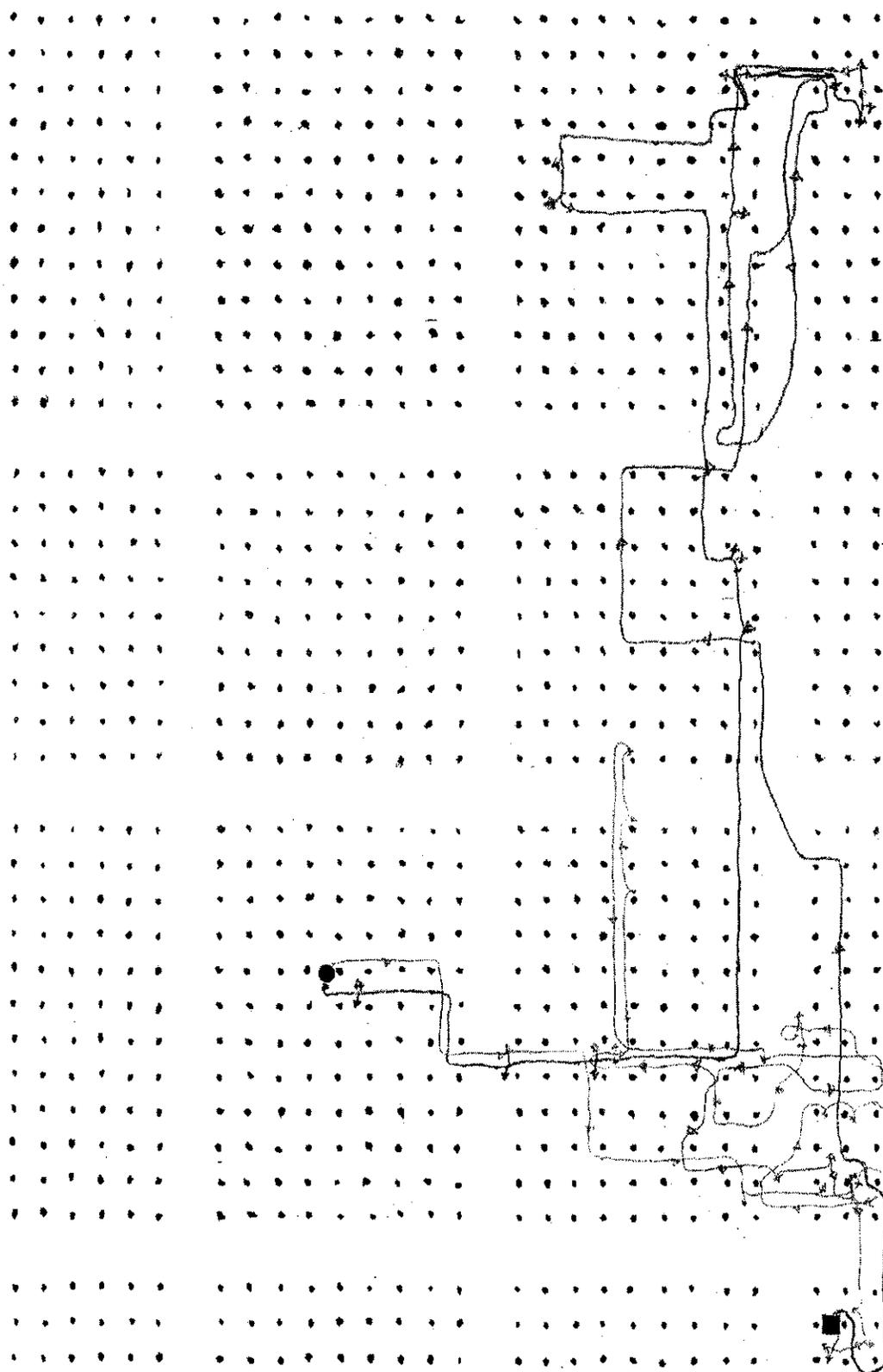


Punto de Partida



Lugar Blanco

Anexo G1 Sesión Pre entrenamiento, Entorno con Marcas, Hombre FD

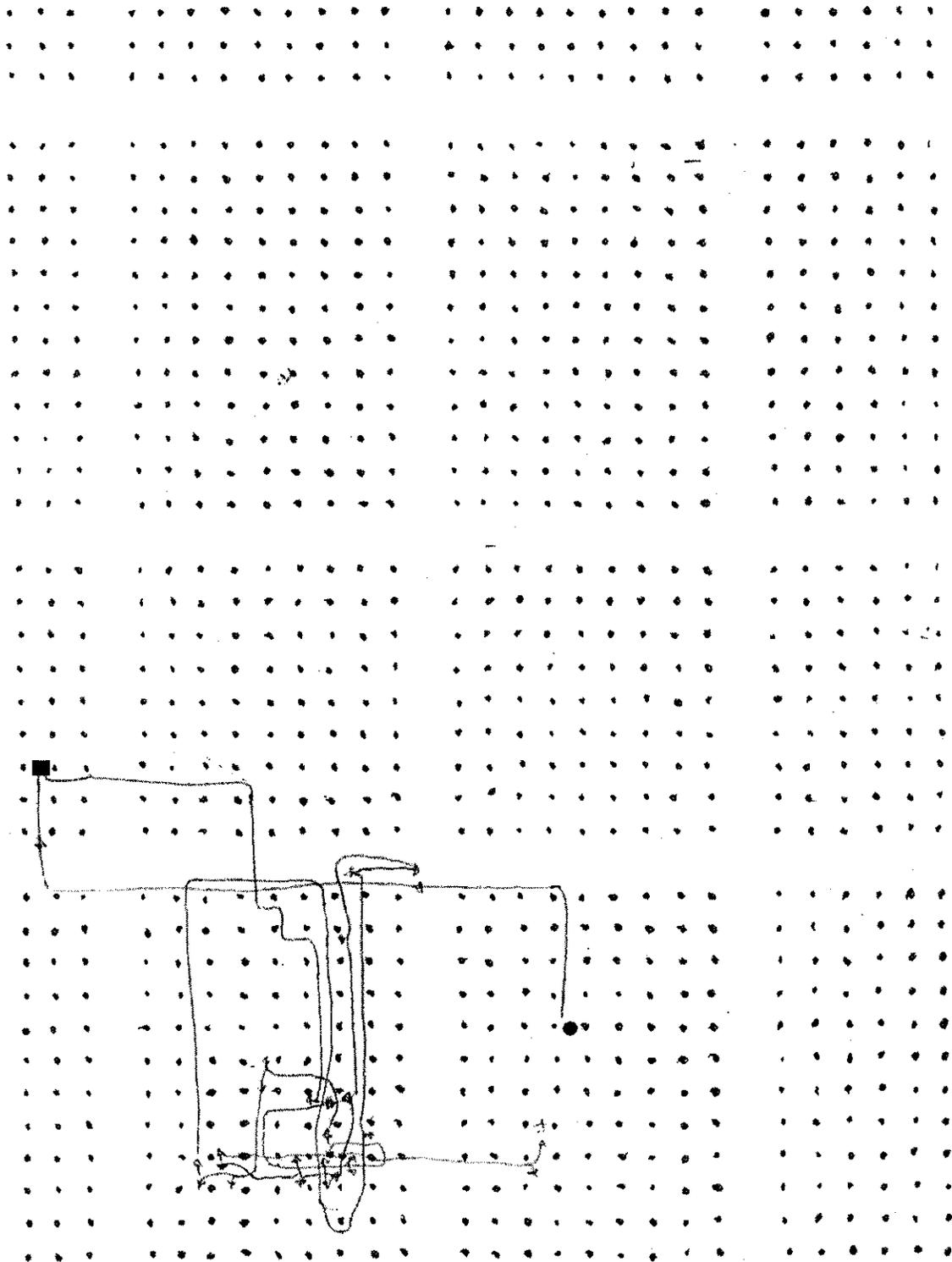


● Punto de Partida

■ Lugar Blanco

Anexo G1

Sesión Postentrenamiento, Entorno con Marcas, Hombre FD



● Punto de Partida ■ Lugar Blanco

Índice

Introducción	3
Antecedentes	8
Habilidades espaciales	8
Diferencias sexuales en habilidades espaciales	9
Navegación espacial	17
Diferencias sexuales en navegación espacial	20
Diferencias sexuales y EEG	26
Navegación espacial y actividad cerebral	30
Diferencias sexuales en navegación espacial y actividad cerebral	38
Entrenamiento de habilidades espaciales	40
Experimento 1	
Introducción	47
Planteamiento del Problema	49
Hipótesis	50
Objetivos	50
Método	52
Sujetos	52
Proceso de selección	53
Procedimiento	54
Análisis de datos	59
Resultados	62
Discusión	70

Experimento 2	
Introducción	76
Planteamiento del Problema	78
Hipótesis	79
Objetivos	79
Método	82
Sujetos	82
Proceso de selección	82
Procedimiento	83
Entrenamiento	89
Análisis de datos	93
Resultados	95
Discusión	147
Discusión general	160
Conclusiones	162
Referencias Bibliográficas	168
Anexos	
Cuestionario e historia clínica	A1
Cuestionario sobre consumo de sustancias	B1
Mapas de entornos virtuales, experimento 1	C1
Escalas analógica para evaluación subjetiva	D1
Mapas de recorridos con estrategias de navegación espacial, exp. 1	E1
Mapa del diseño de los entornos virtuales, experimento 2	F1
Muestras de ejecución en la tarea pre y post entrenamiento	G1

Introducción general

Las diferencias sexuales en habilidades cognoscitivas han sido un tema estudiado desde diversos puntos de vista (social, antropológico, psicológico, neurológico, entre otros). Entre las diferencias sexuales que se han abordado destacan las verbales, sociales y visuoespaciales. En la mayoría de las habilidades cognoscitivas, las mujeres presentan mejor desempeño que los hombres, sólo en las habilidades visuoespaciales éstos tienen una mejor ejecución que las mujeres. Las diferencias sexuales en las habilidades visuoespaciales son las más consistentemente observadas en diferentes culturas y edades (Hampson y Kimura, 1992; Kimura, 2000; Ramos, 2001; Voyer, et al. 1995).

Entre las habilidades visuoespaciales en las cuales los hombres muestran, regularmente, mejor desempeño que las mujeres, destacan: rotación espacial, dar en el blanco, orientación espacial, visualización espacial, independencia de campo y navegación espacial (Kimura, 2000).

En particular, en las habilidades de navegación espacial destaca la habilidad de encontrar el camino de regreso hacia un objetivo (wayfinding), ya que permiten al sujeto desplazarse de un lugar a otro, encontrar rutas alternas en caso de bloqueos o seleccionar la ruta más corta, por lo cual tienen importancia en la vida cotidiana de los sujetos (Satalich, 1995; Montello, 2001; Devlin, 2001). Esta habilidad se considera que se basa en la construcción de conocimiento del entorno en dos formas fundamentalmente de ruta y global o topográfico (Satalich, 1995). Ambos tipos de representaciones se pueden formar a través de: desplazamientos personales o de visualización a través de mapas (Cornell, et al. 2002; Darken, 1995; Newman, et al. 2002; Satalich, 1995).

Como la habilidad para navegar tiene un interés fundamentalmente práctico, una de las preocupaciones constantes en los estudios de navegación espacial es el contar con la posibilidad de hacer los con mayor validez ecológica. Recientemente se han comenzado a emplear entornos virtuales.

Los entornos virtuales, particularmente los entornos inmersivos se caracterizan por generar un estado psicológico en el cual el individuo se percibe incluido en el entorno, interactúa con él, ya que le está proveyendo de estímulos

constantes, se asemeja a la percepción en entornos reales (Blascovich, et al. 2002). En dichos entornos los sujetos responden casi de la misma manera como si fuese un entorno real.

El uso de dispositivos de realidad virtual en estudios de navegación espacial ha permitido, además de mayor validez ecológica, menor gasto, el ser fácilmente replicables y con mayor control de las variables y niveles de complejidad de las tareas propuestas (Rose y Foreman, 2001). Los estudios de navegación espacial ha experimentado con diversos entornos virtuales: laberintos, entornos urbanos conocidos y desconocidos.

Una de las ventajas más importantes de los estudios de navegación espacial mediante entornos virtuales ha sido permitir indagar sobre la participación de diversas áreas del cerebro en dichas tareas, ya que anteriormente sólo se podían emplear procedimientos indirectos como dibujar un mapa después de navegar en un entorno real, imaginar el recorrido de una ruta en varias ocasiones recorrida o en el mejor de los casos ver mediante un video el recorrido de una ruta.

Los trabajos en este sentido han permitido observar la participación de algunas áreas del cerebro que se activan al realizar estas tareas, sobre todo como producto de estudios de resonancia magnética funcional, tomografía por emisión de positrones en sujetos normales, (Maguire, 2001; Maguire, et al. 1998b; Maguire, et al. 1999; Maguire, et al. 1996b; Maguire, et al. 1997; Maguire, et al. 2001; Grön, et al. 2000) así como EEG con electrodos implantados en la corteza cerebral en pacientes con epilepsia (Caplan, et al. 2001; Caplan, et al. 2003; Kahana, et al. 1999a; 1999b) y EEG y MEG con sujetos normales (Bischof y Boulanger, 2003; De Araujo, et al. 2002).

Puntualizando en lo relativo a las diferencias sexuales, los resultados obtenidos estudios conductuales sobre la habilidad para encontrar el camino en entornos virtuales, han sido contradictorios. Algunos estudios han observado diferencias sexuales en la ejecución de tareas y las han atribuido a que los hombres utilizan elementos de distancia y puntos cardinales para encontrar su camino, mientras que las mujeres utilizan marcas en el espacio (Sakthivel, et al. 1999, Sandstrom et al. 1998). Los estudios que no han observado diferencias sexuales se

han realizado en entornos conocidos y han considerado que los estudios que muestran diferencias sexuales en la navegación espacial se deben a la mayor ansiedad de las mujeres durante la tarea en comparación a los hombres (Maguire, et al. 1999; Maguire, et al. 1998b).

En la bibliografía consultada se encontró un estudio realizado en habilidades de navegación espacial y actividad cerebral mostrando diferentes áreas cerebrales activas en la navegación de hombres y mujeres, en un entorno con marcas, atribuyendo las diferencias a las diferentes estrategias empleadas por hombres y mujeres durante la navegación (Grön, et al. 2001).

Sin embargo, no se cuenta con ningún estudio que integre la búsqueda de diferencias sexuales en la navegación espacial en diferentes tipos de entornos (con y sin marcas) mediante registros de EEG, permitiendo clarificar si las diferencias sexuales observadas en algunos estudios se deben al uso de diferentes estrategias evidenciadas mediante la participación de diferentes áreas cerebrales o por la interferencia de aspectos emocionales en el desempeño. Ello a pesar que en otras habilidades visuoespaciales como la rotación mental se han observado diferencias sexuales en las áreas de la corteza cerebral que se activan dependiendo del tipo de estrategia empleada para solucionar la tarea (Corsi-Cabrera, et al. 1993; Rescher y Rappelsberger, 1999).

A su vez, se han encontrado que las diferencias sexuales en las habilidades visuoespaciales pueden verse reducidas con base en entrenamientos diversos que fomenten nuevas estrategias para hacerle frente a las tareas, aunque nuevamente las evidencias son contradictorias observándose en algunos casos la disminución de las diferencias sexuales y en otros su mantenimiento a pesar del entrenamiento (Orsini, et al. 1982; Vasta, et al. 1996; Kass, et al. 1998; Van Horn, et al. 1998; Lawton y Morrin, 1999).

La tendencia en los años recientes en entrenamientos para el desarrollo de habilidades de navegación espacial es el desarrollarlos a través de dispositivos de realidad virtual inmersiva y no inmersiva. Este tipo de entrenamientos han proliferado ya que han mostrado ser igualmente eficientes que aquellos realizados en entornos reales, pero con ventajas adicionales por su menor costo, uso eficiente del tiempo;

no estar sujetos a condiciones climatológicas, así como permitir el incremento de niveles de complejidad en el entrenamiento con mucha precisión (Arthur, et al. 1996; Rose y Foreman, 2001).

A través de diversos entrenamientos se han puesto en evidencia cambios en la organización cerebral de los sujetos que participan en ellos mediante registro de EEG, aunque estos trabajos no han sido en el desarrollo de habilidades de navegación espacial. Los cambios funcionales observados se han asociado a la reducción del esfuerzo mental involucrado en la resolución de la tarea. (Sommerfeld, et al. 2001; Simmel, et al. 2001).

Por lo tanto, así como lo señalan Shelton y Gabrieli (2004) sería posible, mediante el entrenamiento de los sujetos en entornos virtuales, fomentar el empleo de una estrategia de navegación de ruta (egocéntrica) o global (alocéntrica) y observar cambios en las redes neurales activas durante el empleo de una o la otra.

Podemos ir más allá, mediante un entrenamiento usando realidad virtual inmersiva se puede fomentar el empleo de una u otra estrategia de navegación en hombres y mujeres y observar los cambios en las redes neurales activas durante la navegación en entornos virtuales desconocidos de diferentes características mediante el registro de EEG en ambos sexos. Con ello se podría argumentar si las diferencias sexuales en la actividad cerebral en las tareas visoespaciales en lo general y en las tareas de navegación espacial en lo particular son producto de diversas estrategias empleadas por hombres y mujeres o por otro tipo de variables tales como la interferencia emocional o las características de los dispositivos de realidad virtual.

La relevancia de un estudio de estas características es diversa. Por un lado podría aportar información sobre las diferencias sexuales en ejecución y las estrategias al navegar en entornos urbanos desconocidos con y sin marcas. Por otro lado, permitiría valorar la utilidad de emplear dispositivos de realidad virtual inmersiva al entrenar a los sujetos en el uso de diversas estrategias de navegar espacial mejorando el desempeño, matizado por el sexo. Por último, podría proveer información sobre las diferencias sexuales en la actividad eléctrica cerebral mediante el registro de EEG durante la realización de tareas de navegación espacial en

entornos virtuales con y sin marcas, así como los cambios que pudieran ocurrir en la organización funcional del cerebro producto de un entrenamiento para el desarrollo de habilidades de navegación espacial.

El presente trabajo intenta aportar en los aspectos antes referidos, para ello se realizaron dos experimentos. El primer experimento abordó las diferencias sexuales en las habilidades de navegación espacial en dos entornos virtuales desconocidos, uno con marcas y otro sin ellas, interesado en el desempeño conductual y las estrategias empleadas por hombres y mujeres en cada entorno durante tareas de navegación consistentes en explorar los entornos y llegar a diferentes lugares blanco. Se recabó información sobre el desempeño y las estrategias empleadas por hombres y mujeres durante la navegación, así como la posible influencia de estados emocionales en el desempeño de la tarea.

El segundo experimento abordó las diferencias sexuales en el EEG de los sujetos al realizar tareas de navegación espacial (llegar a un lugar blanco) en entorno virtuales desconocidos, así como identificar si el sexo influye en el desarrollo de habilidades de navegación espacial, a partir de un entrenamiento para navegar. Este experimento recabó información sobre las diferencias sexuales en el EEG al navegar, antes y después de recibir un entrenamiento, interesado en los cambios por cada sexo en el desempeño, las estrategias y la reorganización funcional del EEG producto del entrenamiento.

Antecedentes

Las diferencias sexuales en habilidades cognoscitivas han sido un tema estudiado desde diversos puntos de vista (social, antropológico, psicológico, neurológico, entre otros). Entre las diferencias sexuales que se han abordado destacan: verbales, sociales y espaciales; en la mayoría de éstas, las mujeres presentan mejor desempeño que los hombres, sólo en las habilidades espaciales los hombres tienen una mejor ejecución que las mujeres. Se ha observado que estas diferencias sexuales en habilidades espaciales son las más consistentes en diferentes culturas y edades (Hampson y Kimura, 1992; Kimura, 2000; Ramos, 2001).

Habilidades espaciales

Las habilidades espaciales constituyen un grupo heterogéneo de habilidades que implican cierto tipo de procesamiento cognitivo de información de formas geométricas, trazos, líneas y espacio en otras (Caplan, et al. 1985; Linn y Petersen, 1985; Voyer, et al. 1995).

Las habilidades espaciales se han clasificado tradicionalmente en: percepción espacial, rotación mental y visualización espacial (Linn y Petersen, 1985; Voyer, et al. 1995). Sin embargo esta clasificación no es exhaustiva, ni precisa, sino resultado de la categorización ad hoc de las diferentes tareas espaciales usadas en investigaciones y los diferentes procesos cognoscitivos implicados en ellas (Caplan, et al. 1985; Voyer, et al. 1995)

La percepción espacial implica que los sujetos determinen relaciones espaciales entre diferentes objetos o lugares con respecto de la orientación de sus propios cuerpos, a pesar de la existencia de información distractora. Las pruebas consideradas de percepción espacial son: la prueba de la barra y el marco (Rod and Frame), prueba de horizontalidad del nivel del agua de Piaget.

La rotación mental implica la capacidad de rotar en dos o tres dimensiones una figura, con precisión y rapidez. Las tareas de rotación mental son las siguientes: la subprueba de relaciones espaciales de la prueba de habilidades mentales

primarias (PMA), prueba de rotación de cartas, prueba de rotación mental de Vandenberg, así como el prueba de rotación mental de Shepard.

La visualización espacial involucra manipulaciones fraccionadas y complicadas de información presentada espacialmente, con la posibilidad de múltiples estrategias para su solución. Puede implicar procesos requeridos en tareas de percepción espacial o rotación mental. Voyer, et al. (1995) consideran que esta categoría integra todas aquellas tareas que no fue posible integrarlas por Linn y Petersen (1985) a las dos categorías precedentes. Por lo que la considera amplia, heterogénea y menos precisa que las otras dos.

Las tareas consideradas de visualización espacial son: subprueba de relaciones espacial DAT, prueba de bloques idénticos, subprueba de diseño con bloques de la escala de inteligencia para adultos Wechsler, así como de la escala Wechsler revisada para adultos y de la escala Wechsler para niños, las versiones para niños y adultos de la prueba de figuras ocultas, entre otras.

A los largo de varias décadas se han realizado estudios sobre diferencias sexuales, en los diferentes tipos de habilidades espaciales, así como en diferentes tareas asociadas a los mismos. En los siguientes párrafos algunas de estas investigaciones.

Diferencias sexuales en habilidades espaciales

Las diferencias sexuales más frecuentemente referidas son aquellas ligadas al desempeño de los sujetos en tareas de rotación espacial, ya sea de figuras bi o tridimensionales, familiares o desconocidas (Kimura 2000).

Los hombres sobre pasan el desempeño de las mujeres por 0.6 desviaciones estándar en las tareas de rotación mental, particularmente en el prueba de Shepard y su versión de lápiz y papel y la prueba de rotación mental de Vandenberg (Linn y Petersen, 1985; Voyer, et al. 1995).

Las siguientes son algunas pruebas de rotación mental en las cuales se observaron diferencias sexuales en diferentes edades, en ellas los hombres tuvieron mayor número de aciertos:

a) Niños menores de 13 años: en la prueba de Thurstone y Thurstone (Richmon, et al. 1980), prueba de Vandenberg (Casey, et al. 1995), rotación mental en 2D (De Lisi y Wolford, 2002; Levine, et al. 1999).

b) Adolescentes entre los 13 y 18 años: en la prueba de Vandenberg (Jahoda, 1980; Casey, et al. 1995; Casey, et al. 1999).

c) Adultos y/o universitarios mayores de 18 años: en el prueba de Vandenberg (Casey, et al. 1995; Siegel-Hinson y McKeever, 2002; Bell y Saucier, 2004; Amposah y Krekling, 1997; Voyer, et al. 2000; Voyer, 1996; Quaiser-Pohl y Lehmann, 2002; Nordvick y Amponsah, 1998; Scali, et al. 2000; Geary, et al. 1992) rotación mental (Cochran y Wheatley, 1989; Halari, et al. 2005; Collins y Kimura, 1997), rotación de círculos y arcos (Gill y O'Boyle, 1997), prueba de Overman en 2D (Roberts y Bell, 2000), rotación de bloques 3D (Hyde, et al. 1975), rotación de cartas (Signorella, et al. 1989; Sanders y Soares, 1986; Geary, et al. 1992), prueba de Thurstone y Thurstone (Nordvick y Amponsah, 1998), prueba de Shepard (Sanders y Soares, 1986; Voyer, 1997; Ritter, 2004; Hamilton, 1995), rotación de formas simplificadas, abstractas y objetos comunes en 2D y 3D (Sharps, et al. 1994).

Algunos estudios no han observado diferencias sexuales en las tareas de rotación espacial. Por lo general, estos estudios no encuentran diferencias sexuales significativas por estudiarlas en poblaciones con características especiales, o bien por variaciones metodológicas en la aplicación y/o calificación de las tareas usadas en anteriores investigaciones. Jahoda (1979) al evaluar niños de 7 a 14 años de Ghana y Escocia no observó diferencias sexuales en la tarea de rotación mental de líneas, considerando que los resultados podrían variar si se empleara rotación de figuras bi o tridimensionales. Roberts y Bell (2000) no observaron diferencias sexuales en niños 8 años al realizar una tarea de rotación mental en dos dimensiones, en comparación con un grupo de estudiantes universitarios. Quaiser-Pohl y Lehmann (2002) no observaron diferencias sexuales cuando los alumnos universitarios provenían de áreas de computación, ingenierías o deportes, a diferencia de los que provenían de áreas como psicología en los cuales se estaban presentes diferencias sexuales.

En lo que respecta a las tareas de percepción espacial se han visto diferencias sexuales, pero en menor número de investigaciones, en comparación con las tareas de rotación mental. En estas tareas los hombres han mostrado mayor número de aciertos en comparación a las mujeres.

Las diferencias sexuales son espacialmente significativas en el desempeño de los sujetos en la prueba para establecer del nivel del agua de Piaget (Water level task) (Kalichmann, 1989a; 1989b; Golbeck y Sinagra, 2000; Lynn y Golbeck, 1986; Goodrich, et al. 1994; Signorella, et al. 1989; Voyer, et al. 2000; Voyer, 1996; Nordvik y Amponsah, 1998).

Sin embargo, como es frecuente en los estudios sobre diferencias sexuales, hay investigaciones que no han encontrado diferencias sexuales en esta prueba (Scali, et al. 2000).

Por ultimo, en las tareas de visualización espacial los resultados son francamente contradictorios.

Se han encontrado diferencias sexuales en tareas realizadas por universitarios en: la prueba de bloques idénticos (Hyde, et al. 1975), prueba de desarrollo de superficie (surface development) (Nordvik y Amponsah, 1998); en la prueba de figuras ocultas aplicada a adolescentes (Jahoda, 1980); construcción de bloques realizados por niños (Jahoda 1979).

No encontraron diferencias sexuales los estudios realizados con:

a) niños en la tarea de ensamble de figuras (Jahoda, 1979), así como en la prueba de figuras ocultas (Mullis y Bornhoeft, 1983), y en la construcción de cubos (Caldera, et al. 1999; Pontius, 1997);

b) en adolescentes del bachillerato en la prueba de Minnesota Form Borrada (Williams y Brekke, 1979);

c) con estudiantes universitarios en la prueba de figuras ocultas (Scali, et al. 2000; Hamilton, 1995), prueba de comparación de cubos (Geary, et al. 1992), prueba Minnesota Form Borrada (Bart, et al. 1980), prueba de orientación espacial de Guilford-Zimmerman, cubo de Stumpf-Fay, Prueba de Eliot-Price (Bowers, et al. 1998), armado de rompecabezas y DAT (Burin, et al. 2000) la prueba del cubo de

Stumpf-Fay (Mayes, et al. 1988), ensamble de figuras (Mayes, 1982; Unterrainer, et al. 2000).

Las diferencias sexuales se modifican con la edad de los sujetos. Se ha visto que las diferencias sexuales en la infancia son inconsistentes, aún en tareas de rotación mental; durante la adolescencia se establecen diferencias sexuales consistentes en tareas de rotación mental y en menor frecuencia en tareas de percepción espacial; y es en la edad adulta que se muestran consistentemente las diferencias sexuales en la mayoría de las tareas espaciales que han obtenido dichos resultados.

Estos cambios evolutivos en el desempeño de los sujetos frente a las diversas tareas espaciales han llevado a plantear una serie de posibles explicaciones para las diferencias sexuales en las habilidades espaciales:

Predisposición genética de los hombres por la presencia de un gene recesivo en el cromosoma X, el cual es más frecuente en los hombres por contar con uno solo. Sin embargo, Voyer, et al. (1996) en su metaanálisis sobre diferencias sexuales en habilidades espaciales consideran que esta propuesta ha perdido sustento, por lo cual considerar la variable genética como fuente exclusiva de las diferencias sexuales se abandonó desde los años noventa.

Efectos de las hormonas sexuales favoreciendo a los hombres en la ejecución de las tareas, especialmente ligadas a la presencia de testosterona. Bell y Saucier (2004) evaluaron el desempeño de universitarios en tareas espaciales (rotación mental y navegación espacial) asociado a los niveles de testosterona; observaron que los niveles altos de testosterona en las mujeres favorecen su ejecución en las tareas, teniendo el efecto inverso en los hombres, siendo que los efectos en la variación de la testosterona se da al interior de cada sexo de manera independiente.

Roberts y Bell (2000) estudiaron las diferencias sexuales en niños y adultos universitarios en una tarea de rotación mental en 2D. Las diferencias sexuales sólo se observaron en los universitarios, apuntando a la posible influencia de las hormonas durante el proceso de maduración sexual en el desarrollo del cerebro. Siegel-Hinson y McKeever (2000) consideran la posible existencia de un circuito gonadal en el cual los niveles hormonales modulan las habilidades espaciales.

Una explicación diferente señala que las diferencias sexuales se deben a la mayor especialización en el funcionamiento hemisférico cerebral de los hombres, fomentando el uso del hemisferio derecho para la resolución de tareas de carácter espacial, en tanto que las mujeres emplean ambos hemisferios al realizar las tareas. En este sentido, Ernest (1998) considera que la mayor habilidad de los hombres es debido a la capacidad que tienen para no hacer uso del hemisferio izquierdo en espaciales. Siegel-Hinson y McKeever (2002) observaron una asociación positiva entre la especialización del hemisferio derecho y la ejecución de la tarea de rotación mental de Vandenberg, siendo mayor la especialización en los hombres y por consecuencia mejor su desempeño en la tarea, en comparación con las mujeres.

Diferente explicación es la que apela a la mayor experiencia de los hombres en actividades espaciales, favoreciendo su mejor ejecución en las tareas, ya que cuando a las mujeres se les fomenta la práctica o bien en sus actividades se encuentran algunas que requieren habilidades espaciales las diferencias sexuales desaparecen. Golbeck y Sinagra (2000) observaron que las mujeres universitarias mejoran su desempeño con la práctica, en la prueba del nivel de agua de Piaget. Quaiser-Pohl y Lehmann (2002) señalaron que las mujeres que cursaban carreras de ingeniería y/o computación tenían un desempeño similar a los hombres en la prueba de Vandenberg, los hombres ejecutaban igual sin importar la carrera que cursaban. Voyer (1996) observó que las diferencias sexuales se atenúan en razón del número de cursos de matemáticas cursados por los sujetos durante su formación básica y secundaria.

Fortaleciendo más la idea que la experiencia en las actividades espaciales podría fomentar o disminuir las diferencias sexuales en las tareas relacionadas, De Lisi y Wolford (2002) dieron un entrenamiento en rotación mental a través de juegos de computadora a un grupo de niños y niñas de educación básica, logrando después de 11 sesiones que las diferencias sexuales se eliminarán, debido a que las niñas equipararon rápidamente su ejecución con los niños.

Una explicación psicosocial es la que se basa en la identificación de las tareas espaciales como típicamente masculinas, por lo cual se fomenta que los hombres (niños y adultos) deban desempeñarse mejor que las mujeres en las pruebas que

evalúan las habilidades espaciales. En este sentido, Signorella, et al. (1989), así como Nordvik y Amponsah (1998) observaron que las habilidades espaciales se podrían predecir con base en el tipo de actividades estereotipadas genéricamente, en las cuales participaba el sujeto y la identificación que hacía el propio individuo de tales actividades como masculinas o femeninas; las mujeres no participan en actividades que consideran como masculinas no favoreciendo el desarrollo de sus habilidades espaciales.

Sharps, et al. (1994) siguiendo la idea antes mencionada, al tiempo que intentaban hacer una crítica metodológica a los estudios sobre diferencias sexuales en habilidades espaciales, realizaron una investigación de rotación mental de diferentes objetos y formas en la cual al dar las instrucciones se hacía énfasis o no de ser una actividad espacial, considerada típicamente masculina; los datos indicaron que las diferencias sexuales se incrementaban si se señalaba que era una tarea de habilidad espacial.

También se ha planteado como una explicación alternativa que la orientación de género de los sujetos (sentirse masculino o femenino) fomenta que los hombres prefieren actividades que requieren el desarrollo de habilidades espaciales consideradas como típicamente masculinas. Signorella y Wesley (1986) observaron que en tareas de rotación mental sujetos con una identidad masculina alta y femenina baja se desempeñan mejor en las tareas, siendo estas condiciones válidas para las mujeres en todas las edades y para los hombres en la edad adulta; consideran que el sentirse más masculino y poco femenino fomenta la participación en actividades espaciales en ambos sexos. Hamilton (1995) observó que las mujeres con rasgos masculinos altos y femeninos bajos ejecutan mejor que el resto de las mujeres en tareas de rotación mental, para los hombres basta tener rasgos masculinos altos para tener una buena ejecución en las tareas.

Kalichmann (1989a) observó que las mujeres universitarias provenientes de áreas académicas como la mecánica mejoraban su desempeño en la prueba del nivel de agua de Piaget, para los hombres no representaba una diferencia significativa; consideró que las diferencias sexuales se debían a que las mujeres con

identidad femenina se alejaban de las áreas como la mecánica haciendo que su desempeño en la tarea fuera pobre.

También se ha propuesto como explicación la implicación de diferentes tipos de estrategias por cada sexo, para solucionar las tareas, siendo que los hombres emplean estrategias holísticas, en tanto las mujeres usan estrategias analíticas, siendo las primeras más eficientes, en espacial en tareas de rotación mental.

Kalichmann (1989b), Lynn y Golbeck (1986), Golbeck y Sinagra (2000) observaron diferencias en la prueba del nivel del agua, consideraron que los hombres son mejores por la aplicación correcta del principio físico subyacente a la tarea con independencia del contexto, en cambio las mujeres para realizar la tarea se apoyan en el contexto, fundamentalmente el tipo del contenedor, dejando de lado el uso del principio físico.

Cochran y Wheatley (1989) señalan que los hombres usan estrategias holísticas cuando la tarea es más difícil, en este caso en una prueba de rotación mental, favoreciendo su mejor ejecución. Las mujeres fueron más flexibles en las estrategias empleadas (verbales o espaciales), pero en las tareas de rotación mental les ocasionó errores y mayor tiempo en responder al pasar de una estrategia a otra durante la ejecución de la tarea. Resultados similares obtuvieron Casey, et al. (1995) en la resolución de la prueba de Vandenberg en una población de adolescentes y universitarios, en la cual los hombres tuvieron un mejor desempeño por emplear una estrategia visual y las mujeres empleaban tanto estrategias verbales como visuales afectando negativamente su ejecución.

Una opción más para explicar las diferencias sexuales en las habilidades espaciales ha sido considerar la existencia de cierta predisposición biológica, modificada por aspectos de estimulación ambientales.

En este sentido, Voyer, et al. (2000) investigaron la relación entre el tipo de juguete preferido en la infancia y las habilidades espaciales en una población de universitarios, observando que las diferencias sexuales desaparecían si niños y niñas empleaban juguetes que favorecían habilidades espaciales; señalan que este efecto se da en las mujeres, ya que para los hombres no hubo ninguna diferencia en el nivel de ejecución y el tipo de juguete preferido en la infancia. Estos datos les llevó a

considerar que la experiencia afecta más a las mujeres ya que los hombres por cierta predisposición biológica logran sin dificultad los máximos puntajes en las pruebas.

A su vez, Casey, et al. (1999) observaron diferencias sexuales en adolescentes en tareas de rotación mental. El desempeño de los hombres es semejante sin importar experiencia o lateralidad; para las mujeres, el desempeño en la tarea se ve relacionado con la presencia de hermanos en el hogar y los antecedentes de lateralidad familiar diestra exclusivamente. Sus conclusiones apuntan a que las mujeres con peor ejecución son aquellas que tienen hermanos y provienen de familias diestras debido a que la presencia de los hermanos presiona a las mujeres a participar en actividades estereotipadas como femeninas y suponen un efecto genético en las mujeres de familias diestras que las limita a verse favorecidas por la estimulación ambiental de actividades espaciales.

Pero así como existen datos que aportan a las diferentes explicaciones a las diferencias sexuales en habilidades espaciales, también existen investigaciones que aportan elementos que desestiman esas mismas explicaciones. Esta situación de contradicción entre datos, diferencias en las formas de aplicar y calificar las pruebas, entre muchas otras variables han llevado a la mayoría de los autores a mencionar que es necesario realizar más estudios que lleven a comprobar de manera más extensa las hipótesis de trabajo, sin ser sus propios datos concluyentes en ningún sentido.

Incluso hay autores que explican las diferencias sexuales en las tareas espaciales por errores metodológicos y conceptuales en las investigaciones (Feingold, 1988; Caplan, et al. 1985); o bien por las instrucciones, la dificultad de las tareas (Collins y Kimura, 1997; Sharps, et al. 1994), la forma de aplicación y calificación de los pruebas (Voyer, et al. 1995; Voyer, 1997; Scali, et al. 2000), que matiza las diferencias sexuales observadas.

Esto implica que a pesar del número de investigaciones en diferencias sexuales en habilidades espaciales no se han llegado a conclusiones claras en ningún sentido, ya sea reconociéndolas o desestimándolas.

En el campo de las habilidades espaciales, hay algunas que se ligan más a actividades cotidianas, en este caso, habilidades de navegación espacial. Las cuales se han visto también involucradas en el debate antes referido.

Navegación espacial

Las habilidades de navegación espacial son importantes en la vida cotidiana de los seres humanos, permite el desplazamiento de un lugar a otro, reconocer un espacio y en general todas aquellas habilidades ligadas al movimiento voluntario en el espacio. Reviste de especial importancia, ya que el ser humano a diferencia de otras especies no cuenta con dispositivos innatos para el desplazamiento de un lugar a otro, como por ejemplo las aves migratorias.

Históricamente la especie humana ha creado diversos dispositivos que le permitan orientarse en el espacio, para hacer grandes movimientos migratorios, teniendo un destino claro a pesar que este no sea visible (Golledge, 1999).

El crecimiento de las grandes ciudades, el contar con vías de comunicación cada vez más eficientes y medios de transporte más rápidos y con la posibilidad de hacer grandes viajes han generado cada vez una mayor necesidad de navegación en los sujetos, llegando a destinar un tiempo importante de su vida para llegar de un destino a otro (varias horas al día).

Sin embargo a pesar de ser una actividad importante en la vida cotidiana de las personas existe ambigüedad en los conceptos usados para su estudio (Darken y Peterson, 2002). Esto se puede deber a la diversidad de formas de acercarse al estudio de la navegación espacial.

Se pueden distinguir tres tipos de acercamiento a la navegación como habilidad: una psicológica-comportamental, enfocada en aspectos de tipo conductual y cognitivo, de procesamiento de información para la generación de un "mapa cognitivo" del entorno; una perspectiva geográfica, sustentada en la construcción del conocimiento del espacio, a fin en cierto sentido a la psicología en el aspecto cognitivo, pero dando especial énfasis al entorno que debe ser conocido y las complicaciones impuestas por el entorno para la construcción de mapa cognitivo; un enfoque basado en el diseño de entornos construidos, útil para urbanistas,

arquitectos y diseñadores informáticos interesados más en el espacio y sus características, menos en el procesamiento cognitivo implicado para su conocimiento, ya que son los encargados en desarrollar ayudas para la navegación en el entorno.

Por lo anterior es importante clarificar los conceptos relacionados con la habilidad de navegar.

Navegación es la habilidad para viajar o desplazarse de un lugar a otro de forma coordinada y dirigida atravesando determinado espacio (Montello, 2001).

La navegación se divide en dos habilidades básicas: locomoción o movimiento que consiste en el desplazamiento en el espacio, entre dos puntos visibles, sin la necesidad de formar una representación mental o mapa cognitivo del entorno (Montello, 2001; Darken y Peterson, 2002), también se le ha denominado piloteo. La segunda habilidad consiste en la capacidad para encontrar el camino o seleccionar la mejor ruta para desplazarse hacia un punto no visible (wayfinding), implica planear la ruta, tomar decisiones durante la navegación, mantener la orientación, monitorear el seguimiento sistemático de la ruta y atender a instrucciones verbales para llegar a un sitio; esta habilidad por lo general implica la construcción de un mapa cognitivo (Darken y Peterson, 2002; Devlin, 2001; Montello, 2001; Satalich, 1995; Rahman, et al. 2005).

Puntualizando en la habilidad para encontrar el camino o mejor ruta para llegar a un destino, el sujeto debe de estar orientado conforme el espacio, para ello se puede apoyarse en la ubicación de marcas en el entorno (landmarks) o bien ubicarse de conformidad con su velocidad de desplazamiento y distancia recorrida al punto (dead reckoning). La orientación implica la formación de un mapa cognitivo que permita al sujeto saber donde está y hacia donde se encuentra su destino o lugar blanco (target) (Montello, 2001). Con base en autoreportes, se consideró que existen dos tipos básicos de estrategias para estas actividades: a) la estrategia de marcas en el entorno, o b) la estrategia de orientación que implica una representación euclidiana del espacio (Saucier, et al. 2002).

Para poder encontrar el camino más adecuado, ya sea empleando una u otra estrategia, los investigadores consideran que es necesario adquirir un conocimiento

del entorno, o como algunos lo han denominado conocimiento navegacional (Satalich, 1995).

Hay dos distintos tipos de conocimiento navegacional:

a) Conocimiento procesual o de ruta: es referenciado egocéntricamente y construido como producto de la exploración personal del entorno. El sujeto va de una marca a otra en una ruta conocida o en proceso de conocimiento en el entorno. Su aprendizaje se basa en desplazamientos constantes en el entorno (Satalich, 1995).

b) Conocimiento global o topográfico (survey): es construido por múltiples exploraciones de un entorno, usando múltiples rutas, es caracterizado por la habilidad de tomar un punto de vista exocéntrico y referenciado por el entorno, más que por su posición en él. Consiste en tener un mapa cognitivo del entorno (Satalich, 1995).

El conocimiento global se puede construir mediante dos formas: a) conocimiento personal o primario obtenido por exploración directa del entorno; b) conocimiento secundario, producto de la exploración de un mapa o una imagen del entorno en conjunto.

Cuando alguien tiene conocimiento procesual y conocimiento primario global del entorno se considera que tiene conocimiento navegacional completo del entorno, que incluye la ubicación de marcas, establecimiento de límites, distancia entre marcas, destinos posibles y rutas directas y alternas para llegar a dichos destinos (Satalich, 1995; Montello, 2001).

Para alcanzar el conocimiento navegacional completo de un entorno grande se debe construir mediante un proceso dinámico de manera secuencia y jerárquica,

Es ampliamente aceptado el modelo que el aprendizaje espacial de cualquier entorno se desarrolla de forma secuencial en tres estadios progresivos entre sí. a) primero es el conocimiento de marcas, los elementos únicos o vistas que identifican un lugar; b) segundo es el conocimiento de ruta que incluye la interrelación simultánea de localizaciones, por último, c) conocimiento global que permite a los sujetos tomar desviaciones y atajos. No todos tienen este último tipo de conocimiento, el cual se logra mejor a través de mapas y/o exposición constante al entorno (Montello, 2001). Aunque Montello, et al. (1999) consideran que es posible

llegar un conocimiento global sin pasar por los dos estadios previos, propuesta aún no suficientemente explorada.

Con base en lo anterior, los sujetos presentan diferencias en la manera de navegar, en la cuál se representan e integran información nueva de los entornos. Uno de los temas en reflexión es, si el sexo provoca diferencias en la navegación de los individuos.

Diferencias sexuales en navegación espacial

En los trabajos de navegación, la habilidad para encontrar el camino ha sido la más estudiada, por ser la que tiene más implicaciones prácticas en la vida cotidiana.

En las tareas de navegación espacial, particularmente en la habilidad para encontrar el camino, también se han estudiado las diferencias sexuales con resultados similares a los obtenidos en los estudios con los tipos de tareas espaciales referidos con anterioridad. Los hombres muestran ventaja, pero ésta se puede ver disminuida por diversos factores, e incluso hay trabajos que no observan diferencias sexuales.

Las diferencias sexuales en tareas de navegación, en lo general, y para encontrar el camino (wayfinding) en particular se han estudiado a través de diversos medios: mediante encuestas, con la elaboración de mapas, dando instrucciones verbales para llegar a un lugar blanco, navegando de manera real en edificios o entornos urbanos, navegando a través de imágenes en diapositivas, películas y más recientemente a través del empleo de entornos virtuales de diversos tipos. La variabilidad en la forma de evaluar la navegación espacial se debe a que los investigadores han buscado mayor validez ecológica, sin perder control de las variables (Devlin, 2001; Montello, et al. 1999).

En estos estudios de navegación los resultados sobre las diferencias sexuales distan de ser concluyentes, como a continuación se verá.

Las diferencias sexuales encontradas en estudios basados en la aplicación de encuestas han sido: Los hombres refieren con más frecuencia sentirse más hábiles para navegar (Burns, 1999), usan con más frecuencia direcciones cardinales como indicaciones para llegar a un lugar (Lawton, 2001), se desplazan con más frecuencia

apoyados en una representación global del entorno (estrategia de orientación) (Lawton y Kallai, 2002) y se muestran más seguros al navegar (Lawton y Kallai, 2002).

Por su parte, las mujeres tienden a evitar caminos y lugares desconocidos (Burns, 1999), ya que lo consideran más difícil (Bryant, 1991), se desplazan menor distancia en comparación a los hombres (Van Vliet, 1983; Burns, 1999; Ecuyer-Dab y Robert, 2004), usan con más frecuencia instrucciones sobre secuencias de vueltas derecha - izquierda o seguir de frente para llegar a un lugar (Lawton, 2001), navegan con base en recordar los elementos que les resultan más importantes a lo largo de su recorrido (estrategia de ruta) (Lawton y Kallai, 2002) y se muestran más ansiosas al navegar (Lawton y Kallai, 2002).

Los hallazgos obtenidos en estudios realizados mediante la elaboración y/u observación de mapas y posteriormente dar instrucciones para llegar a un blanco han sido que los hombres cuando dibujan un mapa colocan más información de direcciones cardinales, además de lugares o sitios importantes y edificios sobresalientes (Harrell, et al. 2000; Rahman, et al. 2005), colocan más caminos y calles (Kitchin, 1996), toman en cuenta las características del usuario del mapa para añadir elementos o simplificar el diseño (Harrell, et al. 2000), al dar instrucciones emplean con mayor frecuencia direcciones cardinales, estiman mejor la distancia y tienen menos errores en sus indicaciones (Ward, et al. 1986; Montello, et al. 1999).

En este mismo tipo de estudios, las mujeres colocan más espacios de interacción y cruce de caminos como áreas comerciales o sociales (Kitchin, 1996), ubican en sus mapas más sitios de interés o importantes, así como dan más instrucciones de dar vuelta a la izquierda o derecha (Rahman, et al. 2005) y no consideran las características del usuario del mapa al colocar sus elementos en él (Harrell, et al. 2000).

En este mismo tipo de estudios no se han encontrado diferencias sexuales en ubicar correctamente la localización de elementos importantes del entorno en un mapa (Cubukcu, 2001), tampoco en la frecuencia de ubicación de lugares y edificios importantes al realizar un mapa (Harrell, et al. 2000) y ni en el retrazado de una ruta recorrida (Pearson y Ferguson, 1989).

En los estudios realizados mediante el uso de películas o diapositivas las diferencias sexuales observadas son: las mujeres consideran más difícil realizar la tarea cuando se presenta en un film en comparación con la navegación en el entorno directamente, por otro lado, los hombres no refieren diferencias en la dificultad de hacer la tarea mediante un film o en un entorno real (Bryant, 1991).

Las diferencias sexuales obtenidas en las tareas de navegación espacial a través de estudios realizados en entorno reales son diversas.

En tareas de apuntar (Pointing task) hacia un elemento distante en el entorno (lugar importante, el comienzo o final del recorrido) las mujeres muestran más grados de error (Cornell, et al. 2002; Lawton y Morrin, 1999) y tardan más tiempo en hacerlo. En estas tareas, también se obtuvieron resultados en los cuales no se ha observado diferencias sexuales (Dogu y Erkip, 2000; Cornell, et al. 2002), o bien estos resultados han variado según la relevancia personal o conocimiento del sitio a señalar (Kirasic, et al. 1984).

En la tarea de desplazarse de un punto a otro en el entorno, los hombres lo hacen más rápido (Leplow, et al. 2003), durante su recorrido pueden señalar con mayor precisión el lugar del cual partieron (Lawton, et al. 1996; Montello, et al. 1999; Bell y Saucier, 2004). En tanto, las mujeres se muestran más inseguras que los hombres para hacer la tarea (Lawton, et al. 1996), en cambio los hombres se muestran más confiados en sus habilidades que las mujeres (Bryant, 1991).

En tareas realizadas en entornos virtuales, las diferencias sexuales han variado según el tipo de entorno en el que se realiza la tarea, así como los dispositivos de hardware con los cuales tienen que interactuar los sujetos para cumplir la tarea.

Un entorno virtual es información sensorial sintética que engaña la percepción del sujeto respecto del entorno y su contenido como si no fuesen sintéticos (en dos dimensiones). Los entornos virtuales inmersivos se caracterizan por generar un estado psicológico en el cual el individuo se percibe incluido en el entorno, interactúa con él, ya que le está proveyendo de estímulos constantes; el sujeto no experimenta pausas en los cambios de orientación espacial o posición en el entorno, sino que se asemeja a la percepción en entornos reales (Blascovich, et al. 2002). Por lo tanto,

dando a los estudios realizados mediante realidad virtual, particularmente inmersiva una mayor validez ecológica.

Las diferencias sexuales observadas al realizarse la tarea en laberintos han sido que los hombres se desplazan en menor tiempo que las mujeres (Sandstrom, et al. 1998; Grön, et al. 2000; Tan, et al. 2003) y apoyan su navegación en información geométrica y de marcas del entorno (Sakthivel, et al. 1999; Sandstrom et al. 1998).

Al realizar la tarea en entornos realistas: los resultados no han mostrado diferencias sexuales en la ejecución (Rossano y Reardon, 1999; Waller, 2000; Glück y Fitting, 2003; Maguire, et al. 1998b; Maguire, 1999; Darken, 1995).

Las explicaciones para las diferencias sexuales en las tareas de navegación espacial, en lo general, son diversas.

Una explicación posible a las diferencias sexuales en las tareas de navegación propone que los hombres tienen mayor habilidad de navegación por que tienen más experiencia desplazándose que las mujeres (Lawton, 2001; Ward, et al. 1986). Una mayor exposición al entorno permite una representación global del mismo más precisa y menos errores al señalar algún punto del entorno (Kirasic, et al. 1984; Bryant, 1991). Se ha considerado que la mayor experiencia de los hombres en las habilidades de navegación se debe a procesos de socialización y rasgos de género, resultando que los hombres se sientan más confiados al realizar tareas de navegación (Pearson y Ferguson, 1989). Gogu y Erkip (2000) no observaron diferencias sexuales en una tarea de navegación espacial en la cual las mujeres visitaban regularmente el entorno, teniendo incluso mejores puntajes en tareas de apuntar que los hombres.

Otra propuesta propone que las diferencias sexuales se deben aspectos psicológicos. Los hombres presentan menor ansiedad al realizar tareas de navegación espacial, asociado a que tuvieron más experiencia en actividades que implicaron habilidades espaciales que las mujeres (Harrell, et al. 2000; Lawton y Kallai, 2002). Se considera que las mujeres se muestran más ansiosas al navegar, por lo cual usan las rutas que ya conocen, desplazándose más lentamente por su inseguridad (Lawton, et al. 1996). Schmitz (1999) observó que las mujeres se muestran más ansiosas; la ansiedad se asoció al uso de la estrategia de marcas

para navegar, señaló que las tareas de navegación reales tienen un fuerte contenido emocional, mediando los procesos de incorporación de nueva información del entorno.

Una explicación más propone que las diferencias sexuales se deben a los efectos de la testosterona en los hombres. Rahman, et al. (2005) estudiaron hombres heterosexuales y homosexuales, observando que los hombres homosexuales tienden a navegar empleando marcas, tal como lo hacen las mujeres; los autores proponen que existe una relación entre la orientación sexual y la presencia de la testosterona; partiendo de la premisa que los hombres homosexuales presentan bajos niveles de testosterona lo cual afectaría las vías neurales responsables de la navegación, tal como se ha observado en estudios con roedores. Bell y Saucier (2004) relacionaron la ejecución en navegación en un entorno real con los niveles de testosterona; observaron que las mujeres señalaron con mayor precisión ciertos puntos en el entorno cuando los niveles de testosterona son mayores a la media esperada, en cambio los hombres son mejores cuando sus niveles de testosterona estaban por debajo de la media.

También se encuentran trabajos que proponen una explicación biosocial, en este sentido se señala que existe una cierta predisposición biológica de los hombres para tener un mejor desempeño en las tareas de navegación espacial, pero cuando los sujetos reciben un mismo entrenamiento y tienen comportamientos similares en actividades espaciales no se presentan diferencias sexuales (Kitchin, 1996).

Por último, se propone que las estrategias para navegar generan las diferencias sexuales, siendo que los hombres se orientan con base en elementos cardinales o euclidianos del entorno, en cambio las mujeres prefieren la ubicación de marcas en el entorno. Brown, et al. (1998) promovieron que mujeres emplearan la estrategia cardinal para desplazarse, teniendo peores resultados que las mujeres con estrategia de desplazamiento con base en marcas, consideraron que las mujeres fallan al usar la estrategia cardinal por sus limitaciones en la habilidad para rotar mental. Resultados similares observaron Saucier, et al. (2002), Glück y Fitting (2003) aunque estos últimos consideran que el mayor empleo de marcas para navegar en las mujeres es sólo por preferencia, no por limitaciones de algún tipo. Montello, et al.

(1999) observaron que los hombres son mejores para organizar la información en entornos novedosos, en comparación con las mujeres, ya que cuentan con un estilo con base en elementos cardinales. Sandstrom, et al. (1998) consideraron que los hombres se adaptan mejor a los cambios en el entorno, con base en que pueden optar por una representación sustentada en elementos geométricos, o bien con base en marcas. Por lo contrario, las mujeres al ser dependientes de marcas, vieron afectada negativamente su ejecución cuando las marcas eran modificadas de ubicación azarosa de un ensayo a otro.

Otra explicación es con base en las críticas metodológicas, especialmente a los estudios que se han apoyado con dispositivos de realidad virtual. En algunos de los estudios realizados se han observado diferencias sexuales significativas (Sandstrom, et al. 1998; Sakthivel, et al. 1999; Grön, et al. 2000), pero se ha señalado que estas diferencias pueden estar magnificadas por efecto de los dispositivos por medio de los cuales se muestra la imagen o se realizan los movimientos en el entorno. Tan, et al. (2003) y Czerwinski, et al. (2002) han observado que las mujeres mejoran su ejecución cuando se emplean una pantalla de proyección más grande, desapareciendo las diferencias sexuales en tareas en realidad virtual, ya que las mujeres se beneficiaron en mayor medida con el flujo óptico logrado por la pantalla de mayor dimensión. Por otro lado, Waller (2000) consideró que los hombres ejecutan mejor en realidad virtual, cuando se emplea un joystick para desplazarse por estar más familiarizados con su uso, ya que cuando eliminó estadísticamente el efecto del joystick en la ejecución desapareció las diferencias sexuales.

Al igual que en el resto de habilidades visuoespaciales, los estudios de diferencias sexuales en tareas de navegación espacial continúan obteniendo resultados contradictorios, persistiendo aún el debate sobre su existencia y posibles explicaciones, como se pudo observar.

Diferencias sexuales y EEG

Diversas investigaciones han mostrado diferencias sexuales en la actividad eléctrica cerebral de hombres y de mujeres, tanto en condiciones de reposo, como durante la realización de tareas verbales, espaciales, matemáticas.

Una de las explicaciones en torno a las diferencias sexuales durante la realización de tareas diversas ha sido el empleo de diferentes estrategias usadas por hombres y mujeres en la resolución de las mismas. La hipótesis subyacente (Anokhin, et al. 1999) se refiere a que las bases biológicas de las habilidades cognitivas están relacionadas a propiedades globales de los procesamientos neuronales organizados en redes, en vez de áreas pequeñas de activación. El funcionamiento de la organización cerebral se puede suponer a través de la coherencia entre diferentes áreas de la corteza cerebral, en las diferentes bandas eléctricas en relación con la tarea planteada al sujeto para su realización (Kolev y Schürmann, 1992; Jausovec y Jausovec, 2000).

Entre las diferencias sexuales en el EEG reportadas han sido: mayor potencia absoluta (PA) en las mujeres en reposo y durante la ejecución de diversas tareas, incluyendo visuoespaciales (Flor-Henry, 1980). En los hombres se ha observado disminuye la PA en la banda de alfa, en el hemisferio derecho, cuando realizan tareas espaciales (McLeod y Peacock, 1977; Trotman y Hammond, 1979; Galin, et al. 1982; Osaka, 1984). Se ha considerado esta disminución en la PA de alfa como un indicador de dificultad de la tarea, de mayor procesamiento cognitivo (Osaka, 1984) y de mayor actividad cerebral (Roberts y Bell, 2000). En el caso de las mujeres se observado disminución de la PA de alfa durante la realización de tareas visuoespaciales en ambos hemisferios (Gill y O'Boyle, 2000), o bien mayormente en el hemisferio derecho (Trotman y Hammond, 1979; Galin, et al. 1982; Osaka, 1984).

En las áreas cerebrales en las cuales se han observado cambios en la PA durante la realización de tareas visuoespaciales son: central, parietal y occipital derecho con la disminución de la PA de alfa en ambos sexos (Galin, et al. 1982); en los hombres se observó mayor disminución en la PA de alfa en la región parietal y temporal posterior derecha. En ambos sexos se observó decremento en la región frontal lateral y temporal anterior derecha (Roberts y Bell, 2000); en otro estudio se

observó mayor disminución de la PA de alfa en la región frontal lateral derecha en los hombres y en las mujeres bilateralmente (Gill y O'Boyle, 1997); otra diferencia fue que los hombres muestran mayor activación en el lóbulo parietal derecho, en tanto que las mujeres se activó la región parietal bilateralmente (Gutiérrez y Corsi-Cabrera, 1988). Las mujeres muestran potencias semejantes en ambos hemisferios en las bandas de theta, alfa y beta al realizar tareas espaciales (Ramos, et al. 1983).

En la Potencia relativa (PR) se ha observado que los hombres muestran mayor PR en la banda beta, en tanto que las mujeres muestran más alfa, ambos tanto en reposo como durante la ejecución de diversas tareas (Corsi-Cabrera, et al. 1993).

En torno a la actividad eléctrica entre los hemisferios y entre las regiones en cada uno de ellos también se han observado diferencias sexuales. Los hombres muestran mayor asimetría interhemisférica en la potencia tanto en reposo como durante la ejecución de tareas. La activación hemisférica está relacionada con el tipo de tareas realizadas, durante tareas lógico-verbales los hombres muestran mayor potencia en el hemisferio izquierdo, en tanto durante tareas visuoespaciales muestran mayor potencia en el hemisferio derecho. Las mujeres, en cambio, involucran por igual ambos hemisferios en ambos tipos de tareas, mostrando menor especialización hemisférica relacionada con la ejecución de tareas. (Corsi-Cabrera, 1994).

Indicadores usados más recientemente en los estudios de diferencias sexuales durante tareas visuoespaciales han sido la correlación y la coherencia, ambos proporcionan información sobre el grado de semejanza morfológica de las señales. Mientras más semejante sean las señales en dos áreas del cerebro será mayor su correlación y mientras menor sea la correlación es menor el grado de semejanza del funcionamiento cerebral asociándose esto último a una mayor especialización de la región cerebral implicada durante la realización de determinada tarea (Corsi-Cabrera, 1994).

Se han observado diferencias en la correlación durante estado de reposo entre hombres y mujeres. Las mujeres muestran mayor correlación interhemisférica (rTER) entre las regiones centrales y occipitales y mayor correlación intrahemisférica

(rTRA) entre las regiones fronto-occipitales del hemisferio izquierdo. Los hombres mostraron mayor rTER en las regiones frontales y mayor rTRA entre las regiones fronto-temporales y fronto-centrales en ambos hemisferios (Arce, et al. 1995).

El mayor grado de diferenciación interhemisférica entre regiones occipitales observado en los hombres es compatible con la lateralización de las funciones visuoespaciales; mientras el menor grado de diferenciación interhemisférica está de acuerdo con la representación bilateral de las mujeres y con el mayor grosor de las regiones posteriores del cuerpo calloso que presentan.

Se observó mayor correlación rTER en las mujeres durante la realización de diferentes tareas, entre las derivaciones centrales y parietales (Corsi-Cabrera, 1993). En el caso de tareas espaciales se ha observado mayor rTER en la banda alfa en las mujeres al realizar dichas tareas (Beaumunt, et al. 1978).

Especialmente, en las mujeres la coherencia interhemisférica se ve incrementada en la región posterior en las bandas theta, beta-1 y beta-2. En tareas de imaginación, los hombres presentan decrementos en la coherencia interhemisférica de las bandas de baja frecuencia de la región frontal derecha, anterior medial temporal y regiones centrales (Petsche, et al. 1992).

Un efecto interesante observado en la rTER fue que sólo cuando los hombres responden de manera equivocada se incrementa la rTER en la banda beta, en cambio cuando responden correctamente disminuye (Gutiérrez y Corsi-Cabrera, 1989; Ramos, et al. 1993). Es decir, cuando los hombres responden de manera incorrecta su actividad cerebral se semeja más a la actividad de las mujeres, en cambio cuando responden correctamente su actividad cerebral es típicamente masculina, especializada hemisféricamente según la tarea (Corsi-Cabrera, 1994).

En cuanto la coherencia y correlación intrahemisférica, Rescher y Rappelsberger (1999) observaron que al realizar tareas espaciales, en los hombres disminuye la coherencia local entre la región posterior izquierda en la banda theta, mientras que en las mujeres decrece en la región posterior derecha. Los hombres, a su vez, mostraron un incremento en la coherencia entre la región frontal, central y parietal en ambos hemisferios en la banda alfa 1. El incremento de la coherencia local en la banda beta1 sobre la región parieto-temporal fue más pronunciado en los

hombres. En cambio, parece que las mujeres vinculan más funcionalmente ambos hemisferios, en las bandas theta, beta1 y beta2 en las regiones posteriores.

Reviste especial interés los registros de la banda theta que se han visto correlacionados positivamente con habilidades verbales y visuoespaciales (Anokhin, et al. 1999), con la codificación exitosa de información nueva, en especial relacionada con aspectos de movimiento (O'Keefe y Burgess, 1999) y en general durante la solución de tareas diversas (Corsi-Cabrera, et al. 1993; Ramos, et al. 1993).

Los incrementos en la coherencia intrahemisférica en la banda theta han sido relacionados con requerimientos de atención continua en los sujetos, cualesquiera que sea la actividad cognitiva planteada (Anokhin, et al. 1999) sobre todo en la región anterior de la corteza cerebral, estableciendo una mayor coherencia entre la región frontal y parietal durante la realización de la tarea. Se ha observado que la coherencia intrahemisférica en la banda theta disminuye en las mujeres en la derivación T4 y en los hombres en T3.

Se ha establecido un acoplamiento funcional entre la banda theta y alfa. Tareas que demandan codificación o evocación de información propician incrementos en la potencia de theta y decrementos en la potencia de alfa (Klimesch, et al. 1997).

La actividad en la banda baja de alfa se ha relacionado con mayor actividad mental, aunque un tanto desorganizada (Jausovec y Jausovec, 2000). A su vez, se ha establecido una correlación entre ambos niveles de banda alfa y la creatividad necesaria para la solución del problema planteado.

También se han empleado otras formas para evaluar la actividad cerebral durante la realización de tareas visuoespaciales. Mediante resonancia magnética funcional (fMRI) durante la realización de tareas de rotación mental (Jordan, et al. 2002) se observó en las mujeres la activación de: sulcus intraparietal, parietal inferior y superior, giro temporal inferior y áreas premotoras bilateralmente; en cambio los hombres activaron el sulcus parieto-occipital y parietal superior derecho, así como el sulcus intraparietal izquierdo. Se propuso una vía neural hipotética activa durante la rotación mental esta formada por el cortex visual primario, el cortex extraestriado, la

región parietal y el cortex premotor, la diferencia entre hombres y mujeres es que estas últimas activan además la región del giro temporal inferior.

La explicación a las diferencias en las zonas cerebrales activas durante las tareas de rotación ha radicado en que hombres y mujeres usan diferentes estrategias para realizar las tareas. Incluso se ha propuesto que las diferencias sexuales más son diferencias en el desempeño y no derivadas del sexo. Unterrainer, et al. (2000) mediante un estudio de tomografía por emisión de fotón único (SPECT) durante la realización de una tarea de ensamble de figuras observaron que no existían diferencias sexuales cuando los sujetos tenían un mismo desempeño en la tarea, las diferencias eran entre los sujetos muy hábiles y poco hábiles. Centaron su análisis en las regiones parietales y frontales, observaron que los sujetos con pobre desempeño activan bilateralmente ambas regiones, en cambio los sujetos con buen desempeño activan el parietal derecho y el frontal izquierdo.

Con base en los estudios anteriores y del desarrollo tecnológico en realidad virtual se han comenzado a realizar estudios de navegación espacial y actividad cerebral.

Navegación espacial y actividad cerebral

En estudios sobre habilidades de navegación espacial en entornos virtuales realista y de laberintos se han usado registros de: EEG, EEG intracraneal (iEEG), resonancia magnética funcional (fMRI), tomografía de emisión de positrones (PET), tomografía de emisión de positrón único (SPECT), siendo más frecuentes los estudios que han empleado PET y fMRI.

Se han observado diferencias en la activación de distintas áreas cerebrales durante la realización de tareas de navegación espacial dependiendo de si el entorno tiene marcas abstractas u objetos cotidianos, si se trata de entornos amplios y complejos o bien en laberintos, así como si se trata de entornos conocidos o desconocidos (Maguire, et al. 1997).

Los trabajos en torno a la navegación espacial comenzaron a trabajar buscando si existía un funcionamiento similar en el hipocampo, al que presentan las ratas durante su navegación. Los estudios en este sentido, han apuntado a que en la

rata (macho) el hipocampo almacena una representación mental (cognitive map) del entorno, basada en la geometría del lugar y la posición de la cabeza del animal en razón del entorno. Se ha propuesto la existencia de células hipocampales que codifican lugares del entorno y otras células que codifican la posición de la cabeza en relación del entorno (Aguirre, et al. 1998; Maguire, et al. 1999; O'Keefe y Burgess, 1999).

Estas células hipocampales se activan cuando codifican o evocan el espacio en la banda de theta, razón por la cual se han buscado indicios de actividad theta en la región temporal del cerebro humano asociada a actividad del hipocampo, similar a la que presenta la rata (O'Keefe y Burgess, 1999). Existe otros trabajos que han considerado que la actividad en la banda theta en la rata y en el ser humano pudiera estar relacionada con aspectos generales de memoria y no exclusivamente durante actividad espaciales (Kahana, et al. 1999a).

En los hallazgos sobre la participación del hipocampo en la navegación se ha descrito su mayor activación al realizar tareas de navegación espacial (Maguire, et al. 1996b; Maguire, et al. 1997; Maguire, et al. 1998b; Maguire, et al. 1998a), se le ha relacionado con la formación de representaciones aloclínicas del entorno y en la memoria episódica dependiente del contexto (Spiers, et al. 2001a; Burgess, et al. 2002).

Se han podido establecer diferencias en la participación del hipocampo derecho e izquierdo, de tal manera que la activación del hipocampo derecho se asocia al conocimiento exacto de la ubicación de lugares y la navegación hacia ellos (Maguire, et al. 1998b), en especial con el mapeo espacial del entorno durante la navegación (O'Keefe, et al. 1998), generando imágenes mnémicas de locaciones del entorno (Burgess, et al. 2002), así como ligado al empleo de rutas sin apoyo de marcas (Maguire, et al. 1997). En cambio, el hipocampo izquierdo se ha asociado con la memoria episódica dependiente del contexto y memoria autobiográfica (Burgess, et al. 2002) y aspectos no espaciales de la navegación (Maguire, et al. 1998b).

También se han podido establecer relaciones entre la zona anterior y posterior del hipocampo con base en la función que cumplen en la navegación espacial. El

hipocampo posterior se ha relacionado con la representación espacial del entorno y se ha observado su desarrollo anatómico en sujetos con necesidades de navegación (taxistas) haciendo una correlación inversa con el hipocampo anterior. (Maguire, et al. 2000).

En un estudio de registro de actividad de células del hipocampo durante tareas de navegación en un entorno virtual como ciudad, durante la cirugía de pacientes epilépticos, se observó que las células disparaban al lugar particulares que se visitaban y no a objetos, ni personas (Ekstrom, et al. 2003).

Una estructura también vinculada a la navegación espacial ha sido el parahipocampo (Maguire, et al. 1996b; Maguire, et al. 1997; Maguire, et al. 1998a; Maguire, et al. 1998b). El parahipocampo se ha asociado con la codificación de la localización de objetos (Owen, et al. 1996), ligados a la formación de la memoria topográfica en entornos amplios (Maguire, et al. 1998a), en especial en el procesamiento de escenas espaciales (Burgess, et al. 2002), se ha asociado con el aprendizaje y reconocimiento a largo plazo de estímulos topográficos relevantes, tanto edificios como paisajes (Maguire, et al. 2001), se ha relacionado con la función de mapeo espacial (Aguirre, et al. 1996).

Se ha observado que distintas regiones del parahipocampo responden selectivamente a ciertos estímulos. Se identificó la activación bilateral del parahipocampo cuando se empleaban en la navegación aspectos de marcas y rutas complejas (Maguire, et al. 1997). El parahipocampo izquierdo se ha relacionado con la memoria episódica dependiente del contexto (Maguire, 2001; Spiers, et al. 2001b). En tanto, el parahipocampo derecho se ha visto activado en presencia de entornos complejos que cuentan con textura, la cual se correlaciona con su falta de activación ante la ausencia de marcas en el entorno (Maguire, et al. 1998a), así como su activación se ha asociado a la memoria topográfica (Spiers, et al. 2001b). Sin embargo, también se ha observado que la activación del parahipocampo se muestra cuando los sujetos integran la información del espacio dándole sentido de una estructura espacial, se observó mayor activación del parahipocampo al estar observando cuartos vacíos, cuartos con objetos, pero no cuando se observaban

caras y objetos, si bien su limitación es haber realizado sus estudios mediante observación pasiva del entorno (Epstein y Kanwisher, 1998).

En el mismo estudio que registró actividad celular en el hipocampo, hizo lo propio en las células del parahipocampo, se observó que las células de esta estructura respondieron a objetos específicos del entorno (Ekstrom, et al. 2003).

Otras estructuras cerebrales asociadas a la navegación espacial han sido los lóbulos temporales asociándolos con la posibilidad de recordar y encontrar el camino en un entorno (Maguire, et al. 1996a; Maguire, et al. 1997). El lóbulo temporal derecho se ha relacionado con juicios de proximidad (Maguire, 2001).

Además de la participación de las regiones parahipocámpicas e hipocámpicas se ha observado la activación de regiones frontales en las tareas de navegación espacial. El giro frontal inferior izquierdo se ha relacionado con la evocación de la memoria semántica no topográfica (Maguire, et al. 1997; Maguire, et al. 1998b). La región prefrontal derecha se ha asociado con pobre desempeño en la navegación, ligado a la novedad del estímulo mediando las respuestas exploratorias (Van Horn, et al. 1998). La participación de los lóbulos frontales se ha asociado con mayores requerimientos de memoria de trabajo (Shelton y Gabrieli, 2004; Ghaem, et al. 1997; Mellet, et al. 2000), o bien requerimientos en planeación estrategia durante la navegación (Burgess, et al. 2001).

Shelton y Gabrieli (2004) evidenciaron la existencia de dos vías neurales para la navegación, una basada en el conocimiento de ruta y la otra basada en el conocimiento de vista área (survey) del entorno, observándose que durante este último la activación de la región frontal disminuía considerablemente, en comparación con la navegación con base en el conocimiento de ruta.

La mayoría de las observaciones relacionadas con la participación la corteza prefrontal en la navegación espacial se han centrado en la región dorsolateral, sin embargo se han observado algunos elementos que involucran a la región orbitofrontal de la corteza prefrontal, en particular la amígdala, asociada al establecimiento y reconocimiento del objetivo de navegación, en estrecha vinculación con las neuronas hipocámpicas (Ekstrom, et al. 2003), así como la participación de la región anterior de la corteza del cíngulo en la navegación con monitoreo constante

en relación al objetivo y registro de errores, de hecho los sujetos con pocas habilidades de navegación activan más esta región (Shelton y Gabrieli, 2004).

La región parietal se ha considerado involucrada en estas tareas de navegación espacial, en particular el lóbulo parietal inferior derecho y parietal medial bilateral están asociados al soporte del movimiento egocéntrico en entornos virtuales complejos, codificando la posición de los objetos con relación al cuerpo (Maguire, et al. 1998b). Se ha observado mayor activación de la regiones parietales a la evocación de imaginería visual, lo cual se ha vinculado a la construcción de una representación del entorno con base en la posición del sujeto en él, pero también pudiera asociarse al registro del movimiento del sujeto mediante el cambio en el flujo óptico (Maguire, et al. 1998a), también se ha vinculado con el organización de la información de la posición del cuerpo y la cabeza producto del desplazamiento (Burgess, et al. 2001), en si con una representación egocéntrica del espacio (Shelton y Gabrieli, 2004). Aunque, en tareas que comparan el grado de inmersión de los sujetos en la realidad virtual, es decir, el verse desplazándose a si mismos en el entorno como si fuera real o no, la navegación mediante la vista como mapa se mostrado activa más la región parietal, se ha considerado se debe al tratamiento del mapa como un objeto y no como una ruta (Shelton y Gabrieli, 2002).

Además, otras estructuras cerebrales involucradas en la navegación espacial son: el núcleo caudado derecho que se ha asociado con la rapidez con la cual se llega a los lugares deseados (Maguire, et al. 1998b) y la corteza retrosplenial bilateral se emplea en la navegación y orientación en entornos grandes (Maguire, 2001).

Esto ha llevado a proponer la existencia de una red neural implicada en la navegación espacial en general, con algunas particularidades dependiendo de las características del entorno y de la forma en la cual los sujetos se representan el entorno, si bien los resultados no son concluyentes.

Maguire, et al. (1999) consideran forman parte de esta red la región parietal inferior derecha, la región parietal medial, la región posterior del cíngulo, los ganglios basales, la corteza prefrontal izquierda, la región temporal medial (parahipocampo) y el hipocampo. Estos autores reconocen que esta red neural puede verse modificada en su funcionamiento por la edad y el sexo.

Maguire, et al. (1997) proponen una red neural para recordar rutas conocidas al navegar sistemáticamente en ellas. Involucran la región occipitotemporal, la región parietal medial, la parte posterior del cíngulo, el parahipocampo bilateralmente y el hipocampo derecho. Esta red no involucró las regiones frontales ya que los sujetos no debían emitir ninguna conducta, sólo evocar mentalmente la ruta.

Ghaem, et al. (1997) proponen una red para navegar mentalmente entre marcas. Consideran el precuneus izquierdo, la ínsula, el hipocampo medial, el giro occipital medial y la corteza prefrontal.

Mellet, et al. (2000) consideran existe una red neural parieto-frontal para representaciones de imaginación, formada por el sulcus intraparietal, sulcus frontal superior, el giro frontal medial, la zona pre SMA. Esta red se activa para cualquier tarea de navegación, pero reconocen además la activación del hipocampo derecho durante la navegación de ruta, como mediante un mapa y la participación del parahipocampo sólo en la navegación de ruta. Proponiendo dos redes neurales para la navegación dependiendo de las características de ésta.

Burgess, et al. (2001) proponen una red temporo-parietal implicada en la navegación activa en entornos virtuales, formada por el precuneus, el sulcus parieto-occipital, la región parietal posterior bilateral, el parahipocampo, el hipocampo izquierdo, la corteza prefrontal dorsolateral, ventromedial y anterior, así como el región anterior del cíngulo.

Shelton y Gabrieli, (2002) proponen una misma vía general para codificar un entorno producto de la navegación espacial, pero que se activa de manera diferenciada según el tipo de navegación, ya sea de ruta o basada en una representación área del entorno. Consideran que en la codificación de vista área participan más activamente las regiones temporal inferior y parietal posterior superior. En la codificación de una ruta participan estas regiones y el parietal anterior superior y el giro poscentral. Desconocen a que se debe que no observaron activación en la región temporal medial, reportada previamente en otros estudios.

Los estudios sobre navegación espacial empleando como técnicas de registro el EEG, ya sea intracraneal o craneal se han enfocado en observar las formas de

activación eléctrica de las neuronas, particularmente en la banda theta, asociadas a la actividad de hipocampo, como se mencionó anteriormente.

La mayoría de los estudios han observado actividad en la banda theta. O'Keefe y Burgess (1999) sugieren que la actividad theta hipocampal podría deberse a los disparos de las células de lugar, que codifican la información del entorno en un mapa cognitivo en el hipocampo. Kahana, et al. (1999a) en cambio proponen que la actividad en la banda theta del hipocampo estaría ligada a aspectos de memoria en general y no específicamente de memoria espacial, sugiere la presencia de actividad en la banda theta originada en la corteza cerebral es producto de procesamiento cognitivo durante el aprendizaje, vinculando esta actividad eléctrica con la memoria a corto plazo con la actividad en el giro frontal inferior.

El incremento en la actividad en la banda de theta se ha relacionado con esfuerzo mental al realizar tareas cognitivas, atención voluntaria y control al realizar la tarea. En evaluaciones de la coherencia intrahemisférica se ha observado actividad coherente entre las regiones prefrontal y posterior del cerebro durante la retención de elementos verbales y espaciales. Este tipo de actividad se ha propuesto indica un procesamiento top-down entre las regiones cerebrales implicadas, en cambio la actividad en la banda gamma se ha asociado a procesamiento bottom-up (Kahana, et al. 2001).

En estudios electroencefalográficos intracraneales durante tareas de navegación espacial en laberintos se han observado incrementos de actividad en la banda theta en razón de la longitud del laberinto, es decir, mayor longitud en el laberinto, mayor actividad theta, sin importar la experiencia que tengan los sujetos en la tarea. En estos laberintos se han observado incrementos la PA de gamma con el incremento de la dificultad de las uniones en los laberintos. Se propone que la actividad theta no refleja el volumen de conducción del hipocampo hacia la corteza, sino más bien por generadores en la corteza cerebral, esta idea se ha fortalecido por hallazgos de actividad theta en ratas en tareas no espacial, así como durante tareas verbales en humanos (Kahana, et al. 2001).

Kahana, et al. (1999b) en un estudio de navegación en laberintos asistida con flechas o de memoria. Se observaron oscilaciones en la banda theta cuando el

laberinto era más largo, estas oscilaciones tenían mayor duración, sólo en la condición de navegación de memoria (sin flechas), vinculando la actividad theta a procesos de evocación.

Caplan, et al. (2001) realizaron un estudio con pacientes epilépticos con registro intracraneal. La tarea consistía en navegar con precisión en un entorno urbano desconocido, debiendo llegar con rapidez a un lugar blanco, todo ello mediante un juego denominado "el chofer de taxi". Observaron actividad oscilatoria de theta en las fases de exploración libre del entorno y durante los intentos por llegar a los lugares blanco, estas oscilaciones fueron en diferentes sitios en diferentes potencias para cada actividad, funcionando como coordinadores sensorio-motores para facilitar el aprendizaje al explorar y planear la navegación, se observaron estas oscilaciones en las regiones perirrolándicas y temporales bilaterales. Cuando los sujetos buscaban el blanco se observaron más en el hemisferio derecho y menos en las regiones dorsales, asociadas a la actualización de planes motores en respuesta de input sensoriales. Durante la exploración, suponen la actividad theta facilita la codificación mediante la actividad coordinada de múltiples sitios mediante esta información se forma el mapa cognitivo del entorno.

También se observaron oscilaciones de beta relacionados con planeación motora simple en la región rolándica, estas no variaron durante la exploración y la búsqueda del blanco. En la banda gamma se observaron oscilaciones durante la exploración y en menor grado al buscar los blancos, se asociaron a la modulación de los movimientos, ya que aparecieron en la región prerolándica, luego en temporales y frontales vinculándose con procesos de memoria y de representaciones de objetos.

En un estudio similar, Caplan, et al. (2001) registraron la actividad eléctrica al navegar en laberinto, primero guiados por flechas y luego guiados por la memoria. Se observó que con base en la longitud del laberinto se incrementaron oscilaciones en las bandas de theta y alfa, vinculando las oscilaciones de theta a cierto tipo de codificación de información durante la navegación. A su vez se observaron oscilaciones en gamma, delta y beta cuando los sujetos tardaban más en recorrer el laberinto. La actividad en gamma y delta la vincularon a integración de información

en la memoria, relacionadas con procesos de percepción, conducta motora, memoria generando procesos de conducta motora compleja.

En la bibliografía consultada se encontraron dos estudios con sujetos normales, uno de EEG y otro de MEG.

En el estudio de EEG (Bischof y Boulanger, 2003) durante la realización de tareas de navegación espacial en laberintos virtuales, emplearon un laberinto de colores en las paredes de las T y otro con las paredes iguales, en los recorridos los sujetos podían chocar con paredes invisibles que evitaban se perdieran tomando una ruta equivocada. Se observó incremento en las oscilaciones en theta después de salir de una T, cuando se observaba a lo lejos una nueva T y cuando chocaban con una pared invisible, siendo mayores las oscilaciones en el laberinto de colores, que a la postre resultó ser el más difícil para los sujetos. Propusieron la relación de las oscilaciones de theta con el almacenamiento y evocación de la información espacial durante la navegación.

En el estudio de MEG (De Araujo, et al. 2002) emplearon tareas de navegación en una ciudad virtual, pidiendo a los sujetos exploraran libremente el entorno y después llegar un lugar blanco con la posibilidad de encontrar bloqueos en la ruta seleccionada para ello. Observaron actividad en la banda theta cuando los sujetos se desplazaban activamente, en los momentos cuando los sujetos dejaban de moverse disminuía la actividad theta y se incrementaba alfa. Los generadores de la actividad theta los ubicaron en el giro temporal superior y en regiones temporales profundas en ambos hemisferios. Un fenómeno particular observado fue la propagación de theta de forma antero-posterior, de la región frontal superior a los parietales. No consideran esta actividad en theta este ligada a la memoria episódica, ya que no observaron cambios en ella en las tres tareas que realizaron los sujetos para llegar a un blanco.

Diferencias sexuales en navegación espacial y actividad cerebral

En particular sobre las diferencias sexuales al realizar tareas de navegación espacial, sólo se encontró un trabajo (Grön, et al. 2000) mediante fMRI que observó diferencias sexuales en las redes neurales involucradas por cada sexo al realizar la

tarea. Para su estudio emplearon sujetos adultos, la tarea consistía en navegar en un laberinto en T, con marcas, con navegación en primera persona, empleado el teclado para desplazarse en el entorno y usaron para mostrar la imagen lentes de realidad virtual inmersiva. Observaron diferencias conductuales únicamente en el tiempo de navegación, los hombres tuvieron menor tiempo en comparación con las mujeres. Pero en las regiones cerebrales involucradas se observaron más diferencias sexuales.

Los hombres activaron más la región posterior del cíngulo derecho, el parahipocampo derecho e izquierdo y el hipocampo izquierdo. En cambio, las mujeres activaron más la región frontal superior izquierda, la frontal medial derecha, el prefrontal derecho y la región parietal derecha inferior y superior. Suponen que las representaciones aloécnicas del entorno se codifican en el hipocampo (estructura geométrica) y en el parahipocampo (ubicación de marcas) áreas más activas en los hombres por emplear ubicación de marcas y las características geométricas del entorno para orientarse. La representación egocéntrica se codifica en la región parietal área más activa en las mujeres por ser importante en la ubicación egocéntrica, así como con la región prefrontal derecha involucrada en la memoria de trabajo para mantener las marcas organizadas en una ruta.

Sin embargo, al igual que en los demás estudios de diferencias sexuales, existen trabajos que no observaron diferencias sexuales. En particular un trabajo mediante fMRI (Pine, et al. 2002) comparando habilidades de navegación entre adolescentes y adultos y por sexo, se observaron sólo diferencias por la edad. Las tareas consistieron en la navegación en un laberinto en dos condiciones navegación, una guiada por flechas y otra navegación de memoria. Si bien no observaron diferencias sexuales, si notaron diferencias en las red activadas en correlación con el desempeño de los sujetos. Se observó que los sujetos con menos habilidad para navegar mostraban menor activación en la región temporal medial anterior y mayor activación en el resto de áreas cerebrales vinculadas a la navegación.

Por lo anterior no se tiene certeza en cuanto si existen diferencias sexuales en la navegación espacial producto de las estrategias empleadas, o bien si estas

diferencias pudieran deberse al desempeño de los sujetos en las tareas más que al sexo.

Por otro lado Shelton y Gabrieli (2004) sugieren que las redes neurales involucradas en la navegación espacial están en relación con las habilidades para rotar mentalmente. Los sujetos con mayor habilidad para rotar mentalmente podrían navegar con base en una vista área del entorno o mediante navegación de ruta, en cambio los sujetos con menor habilidad para la rotación se les dificultaba la navegación área y preferían la de ruta, implicando en ello más zonas del cerebro, en especial las regiones frontales. Por ello proponen que al entrenar en el desarrollo de habilidades de rotación mental se podría provocar cambios en las redes neurales implicadas en la navegación y la facilidad para emplear la navegación área o de ruta según sus necesidades.

Entrenamiento de habilidades espaciales

Las posibilidades de desarrollo de habilidades cognitivas se basan en la teoría histórico-cultural la cual propone que los procesos psicológicos superiores son producto de la influencia cultural en el psiquismo del individuo. El empleo de signos o símbolos producirán cambios funcionales en el sistema nervioso, generando cambios en la organización funcional de la actividad de los hemisferios cerebrales (Rivière, 1988; Kozulin, 1994).

El objetivo de un sistema de entrenamiento o educación debe promover el desarrollo de los procesos psicológicos y, por ende una reorganización sistémica de las funciones cerebrales, con base en las estrategias que sean propuestas para su resolución (Vigotsky, 1979; Davidov, 1988). El desarrollo y perfeccionamiento de habilidades es algo deseable en el ser humano.

En cuanto el desarrollo de habilidades espaciales se espera que un entrenamiento intensivo pueda disminuir las diferencias de rendimiento entre hombres y mujeres (Kimura, 2000). Incluso en primates se ha visto que cuando se entrenan machos y hembras en habilidades espaciales, las hembras se benefician más que los machos (Lacreuse, et al. 2005).

Las mujeres se benefician más con el entrenamiento en tareas que tradicionalmente son mejor ejecutadas por hombres, estos últimos no logran un beneficio en igual medida que las mujeres, pero eventualmente pueden mantener las diferencias sexuales. Orsini, et al. (1982) pidieron a niños de 9 a 10 años, realizar una tarea de aprendizaje espacial, en 12 ocasiones, observaron que tanto hombres como mujeres mejoraron su desempeño en las tareas, pero se mantuvieron a lo largo del estudio las diferencias sexuales observando mejor ejecución en los hombres. Otro estudio con jóvenes universitarios (Vasta, et al. 1996) mostró que las mujeres mejoraron significativamente en su desempeño en la tarea de los niveles de agua, después de recibir un entrenamiento graduado por niveles de complejidad, partiendo de lo más simple a lo más complejo, pero sin alcanzar el nivel de los hombres, ni transferir lo aprendido a otras tareas espaciales. En una prueba de apuntar en la dirección correcta con niños, se observó que tanto hombres y mujeres mejoraron su desempeño después de practicar a realizar dicha actividad, pero las mujeres no alcanzaron el nivel de los hombres (Lawton y Morrin, 1999).

Sin embargo existen estudios en los cuales se observa que las mujeres mejoran su desempeño y lo igualan a los hombres (Ramos, 2001), aunque algunos de estos mismos trabajos reportaron escasas mejorías en los hombres aludiendo probablemente un efecto de techo en el desempeño de las tareas.

En una escuela de ingeniería (Agonino y Hsi, 1995) se aplicó un taller para el desarrollo de habilidades de razonamiento espacial a los alumnos de primer ingreso. En la evaluación pre entrenamiento los hombres mostraron mejor desempeño en dibujo y en la solución de problemas espaciales, las mujeres mostraron una tendencia a generar mal vistas isométricas. Después del entrenamiento las diferencias sexuales disminuyeron en la evaluación realizada, las mujeres tendieron a hacerlo mejor que los hombres.

Las mujeres de una escuela naval, producto de un entrenamiento breve, acompañado de la estrategia educativa adecuada (retroalimentación) pudieron incrementar su desempeño de forma duradera en tareas de rotación mental, igualando su desempeño al de los hombres. También se mostró que las mujeres no superaron las diferencias sexuales con un instructivo, sino además requirieron de

una retroalimentación sobre sus errores para mejorar su desempeño de manera consistente (Kass, et al. 1998).

En adolescentes en particular (Gittler y Glück, 1998), se les dio la opción de participar voluntariamente en un curso de geometría descriptiva, durante un par de años. Previo al curso se evaluaron sus habilidades para rotar mentalmente objetos de 3D observándose diferencias sexuales iguales a las reportadas tradicionalmente. Dos años después, las mujeres que tomaron el curso de geometría mejoraron significativamente sus habilidades de rotación mental, igualando su desempeño con los hombres, en comparación con aquellas mujeres que no asistieron a dicho curso.

En un estudio con niños de 8 a 9 años (De Lisi y Wolford, 2002), se les enseñó a rotar mentalmente objetos de 2 dimensiones mediante juegos de computadoras. El entrenamiento constó de 11 sesiones de 30 minutos cada una durante 1 mes. Antes del entrenamiento se observaron diferencias sexuales en una tarea de rotación mental en 2D, en la cual los hombres fueron más precisos y acertados que las mujeres. Después del entrenamiento se aplicó nuevamente la tarea y no se observaron diferencias sexuales. Eso llevó a concluir a los investigadores que la práctica mejora la habilidad para rotar mental.

Entre las nuevas tecnologías para la educación se encuentra el uso de los equipos de cómputo y programas especializados que permiten desarrollar ciertas habilidades cognoscitivas y sociales. En especial, revisten de interés los programas de entrenamiento de habilidades desarrollados en realidad virtual no inmersiva e inmersiva, conllevando el supuesto implícito que estos modelos representacionales del mundo son los más adecuados para que se presente una generalización de las habilidades a la vida cotidiana fuera de la computadora, con un menor costo, uso eficiente del tiempo y permitir el incremento de niveles de complejidad y control de variables en los entrenamientos con mucha precisión (Tolmie, et al. 2001; Arthur, et al. 1996; Arthur, et al. 1997; Foreman, et al. 2000; Blascovich, et al. 2002).

Se han realizados estudios con habilidades de regulación del movimiento humano (Buekers, et al. 1999; Redlick, et al. 2001), desarrollo de habilidades manuales (Tuggy, 1998; Pearl, et al. 1999; Witzke, et al. 2001), habilidades sociales (Loomis, et al. 1999; Blascovich, et al. 2002), habilidades en desplazamiento de

marcha (Tolmie, et al. 2001) entre otros, reportando buenos resultados en comparación con métodos educativos tradicionales.

A su vez se han reportado indicios que el empleo de entrenamientos en realidad virtual no reporta los suficientes beneficios que los métodos tradicionales. Se enseñó a sujetos a navegar en una ruta producto de: exploración de la ruta en realidad virtual, observación de la ruta en realidad virtual, observación de la ruta en un mapa. No se observaron diferencias favorables en la exploración de la ruta y el aprendizaje en el mapa, en cambio fue peor el desempeño de los sujetos que solo observaron la ruta en realidad virtual (Farrell, et al. 2003). En un estudio en navegación espacial en entornos naturales, se mostró que la variable más importante para los resultados de un entrenamiento fue la habilidad previa que tienen los sujetos. El empleo de realidad virtual resultó útil para sujetos con habilidades intermedias y no tan provechoso para sujetos expertos o principiantes (Darken y Banker, 1998).

En el campo de la neuropsicología se han comenzado a emplear tecnologías de realidad virtual para la evaluación y rehabilitación de funciones ejecutivas, procesos de atención, procesos visuoespaciales, funciones mnémicas, habilidades de navegación, conductas para cocinar, evaluación de aprendizaje y memoria, evaluación de conducción de vehículos, entre otros (Schultheis y Rizzo, 2001; Schultheis, et al. 2002).

Así como en el campo de la rehabilitación o habilitación de sujetos con discapacidad para desplazarse (Foreman et al. 2000, Foreman et al. 2003).

En entrenamientos para desarrollar habilidades espaciales, en particular de rotación mental (Waller y Miller, 1998) observaron que los sujetos que participaron en entrenamientos en realidad virtual mejoraban su desempeño en una tarea de rotación mental una semana después de haber concluido sus sesiones de práctica, en comparación con dos tutoriales, uno en papel y otro en video. En la evaluación inmediatamente después de la sesión de entrenamiento no se observaron diferencias, pero una semana después quienes practicaron en realidad virtual habían retenido mejor los elementos para cumplir con la tarea. En otro estudio de entrenamiento con realidad virtual (Arthur y Hancock, 2001), los sujetos entrenados

en realidad virtual activa, mejoraron sus habilidades para rotar mentalmente un conjunto de objetos, en comparación de aquellos que usaron realidad virtual pasiva y de un mapa.

En entrenamientos en el desarrollo de habilidades de navegación espacial mediante realidad virtual inmersiva que permita disminuir las diferencias sexuales no hay gran cantidad de esfuerzos. Ello se ha debido a que la mayoría de los investigadores ha propuesto que los dispositivos empleados para la navegación virtual favorecen per se a los hombres. Hunt y Waller (1999) mencionaron que el uso de joystick limita la ejecución de las mujeres por no estar familiarizadas con su uso; Czerwinski, et al. (2002), Tan, et al. (2000) han desarrollado mayores habilidades de navegación espacial en las mujeres, pero han atribuido estas mejoras al empleo de pantallas semicirculares que permitan tener un mejor flujo óptico durante los desplazamientos, más que a los entrenamientos en sí.

En particular, se han realizado entrenamientos de habilidades espaciales usando modelos virtuales y reales en el laberinto de Kiel (Foreman, et al. 2000) y en ambientes urbanos normales (Tolmie, et al. 2001), indicando que los sujetos transfieren correctamente la información del entorno virtual al real. Los sujetos a los que se les enseñó, tuvieron un mejor desempeño con menor número de errores, mayor rapidez, estaban confiados en sus respuestas, con relación a aquéllos que no recibieron el entrenamiento y, semejantes a los que recibieron un entrenamiento en entornos reales (Foreman, et al. 2000). En ambos entrenamientos los hombres tuvieron un mejor desempeño que las mujeres gracias a su mayor habilidad en la rotación mental.

Es posible identificar los cambios en la organización cerebral, a través de estudios electroencefalográficos, provocados por los entrenamientos de habilidades espaciales en ambientes de virtuales. (Carrozzo y Lacquaniti, 1998; Bayliss y Ballard, 2000), así como empleando resonancia magnética funcional (Aguirre y D'Esposito, 1997).

A través de diversos entrenamientos se han puesto en evidencia cambios en la organización cerebral de los sujetos que participan en ellos, aunque estos trabajos

no han sido en el desarrollo de habilidades de navegación espacial en entornos virtuales.

Mediante una técnica de PET (Van Horn, et al. 1998) se observaron cambios en los circuitos neurales en mujeres cuando realizaban por primera vez una tarea y cuando ya tenían varias sesiones de práctica. Los cambios observados fueron mayor activación del hemisferio derecho al realizar por primera vez la tarea, en cambio mayor activación de áreas posteriores cuando tenían práctica en la tarea.

Las hallazgos han sido fundamentalmente la reducción de la coherencia interhemisférica en la banda theta entre la región frontal y prefrontal, la disminución del tiempo en la coherencia de la región frontal y parietal, aumento de la coherencia en la banda beta 1 en la región parietal, todos estos cambios al momento de ejecutar la tarea después de haber recibido un entrenamiento en particular.

Los cambios funcionales se han asociado a la reducción del esfuerzo mental implicado en la resolución de la tarea. (Sommerfeld, et al. 2001; Simmel, et al. 2001; Dörfler, et al. 2001).

Producto de diversos tipos de entrenamiento se han observado cambios en la actividad eléctrica cerebral de los sujetos. Decrementos en la duración de la coherencia en la banda theta particularmente en el hemisferio izquierdo (por tratarse de una tarea verbal) entre las regiones parietal y frontal superior, esta reducción en la coherencia se asoció con reducción en el tiempo de reacción de los sujetos al realizar las tareas (Simmel, et al. 2001; Sommerfeld, et al. 1999). También se han observado cambios en la banda beta1 presentándose una reducción de la duración de la coherencia entre las regiones parietal y frontal (Sommerfeld, et al. 1999).

La forma en la cual se pueden presentar los cambios en la actividad eléctrica cerebral puede estar asociado con la capacidad de aprendizaje de los sujetos, siendo que los sujetos con aprendizaje más rápido presentan una respuesta similar en las bandas de theta y beta1, en tanto que los sujetos más lentos para aprender presentan decrementos primero en la banda beta1 y posteriormente en theta (Sommerfeld, et al. 1999).

Lo antes mencionado implica que es posible pensar en cambios en la organización cerebral dependientes de entrenamientos o práctica constante, durante

la realización de diversas tareas, en particular, de tareas de navegación espacial, empleando entornos virtuales como un medio enseñanza, pudiendo ser evidenciados estos cambios mediante el registro de EEG o de otras técnicas de registro de la actividad cerebral, tal como lo han mencionado Shelton y Gabrieli (2004).

Experimento 1

Diferencias sexuales en las estrategias de navegación espacial en entornos virtuales.

Introducción

En las diferencias sexuales estudiadas destaca las observadas en la ejecución de tareas visuoespaciales, ya que éstas han sido las más consistentes en diferentes culturas y edades. Los resultados han mostrado mayor número de aciertos, mayor velocidad al realizar las tareas en los hombres en comparación a las mujeres (Hampson y Kimura, 1992; Kimura, 2000; Ramos, 2001).

Entre las habilidades visuoespaciales en las cuáles los hombres han mostrado mejor desempeño que las mujeres, destacan: la rotación espacial, el dar en el blanco, la orientación espacial, la visualización espacial, la independencia de campo y la navegación espacial (Kimura, 2000).

Entre las habilidades de navegación destaca la habilidad para encontrar el camino hacia un lugar blanco (wayfinding); ésta permite al sujeto desplazarse de un lugar a otro, encontrar rutas alternas en caso de bloqueos y/o seleccionar la ruta más corta (Devlin, 2001). Esta habilidad se basa en la construcción del conocimiento del entorno en dos formas, fundamentalmente: a) egocéntrica, basada en la representación del espacio teniendo como referente principal la posición del propio sujeto en el entorno, y b) allocéntrica, basada en la representación del espacio de forma completa, abstracta, sin importar la posición del sujeto en el entorno, regularmente sustentada en formas geométricas y puntos cardinales. Ambos tipos de representaciones se pueden formar a través de desplazamientos personales o de visualización a través de mapas (Cornell, et al. 2002; Darken, 1995; Newman, et al. 2002; Satalich, 1995).

Las habilidades de navegación espacial son importantes en la vida cotidiana de los seres humanos, ya que permite el desplazamiento, conocer un espacio y en general todas aquellas habilidades ligadas al movimiento voluntario en los quehaceres cotidianos. Reviste especial importancia, ya que el ser humano a diferencia de otras especies no cuenta con dispositivos innatos para el desplazamiento a diferentes lugares, como por ejemplo las aves migratorias.

Históricamente, la especie humana ha creado diversos dispositivos que le permitan orientarse en el espacio, para hacer grandes movimientos migratorios, teniendo un destino claro a pesar que este no sea visible.

El crecimiento de las grandes ciudades, el contar con vías de comunicación cada vez más eficientes y medios de transporte más rápidos y con la posibilidad de hacer grandes viajes han generado cada vez una mayor necesidad de navegación en los sujetos, llegando a destinar un tiempo importante de su vida para llegar de un destino a otro (varias horas al día).

Los estudios más recientes en habilidades de navegación espacial han comenzado a emplear dispositivos de realidad virtual, ya que su uso hace a los estudios con mayor validez ecológica, más económicos, fácilmente replicables y con mayor control de las variables y de los niveles de complejidad de las tareas propuestas (Rose y Foreman, 2001). Los estudios de navegación espacial en entornos virtuales se han realizado en diversos ambientes: en laberintos y en entornos urbanos conocidos y desconocidos, viajes por mar, tierra o aire.

Los resultados obtenidos en estos estudios sobre las diferencias sexuales en la habilidad para encontrar el camino en entornos virtuales han sido contradictorios. Algunos estudios han encontrado diferencias sexuales en la ejecución de tareas de navegación virtual, observando mayor precisión y velocidad en la ejecución de los hombres en comparación a las mujeres. Estos estudios han explicado las diferencias sexuales con base en que los hombres utilizan elementos de distancia y puntos cardinales para encontrar su camino favoreciendo una representación aloctónica del entorno, mientras que las mujeres utilizan marcas en el entorno (landmarks) favoreciendo una representación egocéntrica (Sakthivel, et al. 1999; Sandstrom, et al. 1998; Cubukcu, 2003). Estos estudios han empleado en sus tareas la navegación en laberintos o entornos urbanos desconocidos.

Algunos otros estudios realizados en entornos urbanos conocidos han considerado que las diferencias sexuales observadas en la navegación espacial se debe a aspectos emocionales (Maguire, et al. 1998b, Maguire, et al. 1999) o por el tipo de dispositivos electrónicos y computacionales empleados para navegar (Hunt y Waller, 1999; Allahyar y Hunt, 2003).

Otros estudios, francamente no han encontrado diferencias sexuales en la navegación en entornos virtuales (Darken, 1995).

En este sentido, no existe un acuerdo de la existencia de diferencias sexuales en la navegación espacial en entornos virtuales. En los casos en que se ha observado mayor precisión y rapidez de los hombres en comparación a las mujeres durante la navegación virtual no existe acuerdo en la explicación de dichas diferencias; si éstas se deben a las estrategias empleadas por uno y otro sexo, o bien por los dispositivos empleados para navegar o por la influencia de aspectos emocionales en la ejecución. También, se ha señalado que las características del entorno pudieran influir en el desempeño de los sujetos durante su navegación (Devlin, 2001).

Planteamiento del problema

Como se mencionó previamente, las diferencias sexuales en la ejecución de tareas visuoespaciales han mostrado ser consistentes en diferentes culturas; sin embargo, en lo que respecta a diferencias sexuales en tareas de navegación espacial en entornos virtuales las evidencias son contradictorias entre si, algunos estudios han observado diferencias sexuales y otros no.

Se han mostrado diferencias sexuales en la realización de tareas de navegación espacial en laberintos; pero, en tareas de navegación en entornos virtuales semejantes a los reales no se han observado diferencias sexuales.

En torno a las explicaciones sobre las diferencias sexuales, en caso de observarse, en la navegación virtual, también son contradictorias. Por un lado, se propone que son las estrategias empleadas por los sujetos las causantes de dichas diferencias. Por otro lado, se deben a la influencia de aspectos metodológicos o emocionales en las tareas. Tampoco se cuenta con estudios que observen las estrategias empleadas por un mismo sujeto al realizar una tarea de navegación en entornos virtuales con y sin marcas.

Por lo anterior, las preguntas que nos planteamos son las siguientes:

¿Existen diferentes estrategias en hombres y mujeres al navegar en entornos virtuales desconocidos?

¿Existen diferencias entre hombres y mujeres en la ejecución de tareas de navegación espacial en entornos virtuales urbanos desconocidos con y sin marcas?

¿Estas diferencias, en caso de existir, están relacionadas con el tipo de estrategia empleada para realizar las tareas de navegación espacial?

¿Cuál es la influencia de la presencia o ausencia de marcas en el entorno para el empleo de una determinada estrategia de navegación espacial?

¿Cuál es la influencia de estados subjetivos en la realización de tareas de navegación espacial en entornos virtuales?

Hipótesis:

Los hombres ejecutarán con mayor precisión y rapidez que las mujeres las tareas de navegación espacial en entornos virtuales urbanos con y sin marcas.

Los hombres y las mujeres emplearán diferentes estrategias para navegar en entornos de realidad virtual; los hombres emplearán estrategias aloécnicas y egocéntricas; las mujeres emplearán estrategias egocéntricas.

Los hombres serán más precisos y rápidos en su ejecución en las tareas comparados a las mujeres, con base en el uso combinado de estrategias aloécnicas y egocéntricas para navegar, en ambos entornos.

Las mujeres ejecutarán con más errores en las tareas a realizar en el entorno sin marcas, en comparación con aquellas que se realizarán en el entorno con marcas.

Los estados subjetivos presentados los sujetos influirán en la ejecución de las tareas de navegación espacial.

Objetivo general:

Identificar las diferencias sexuales en la ejecución y en las estrategias que emplean estudiantes de bachillerato para navegar en entornos virtuales desconocidos.

Objetivos específicos:

1. Identificar las diferencias sexuales en la ejecución al realizar tareas de navegación espacial en entornos virtuales con y sin marcas.
2. Conocer las diferencias sexuales en las estrategias empleadas al navegar en entornos virtuales desconocidos con y sin marcas.
3. Identificar cuáles son los indicadores de ejecución más representativos al realizar de manera más eficiente y eficaz las tareas.
4. Identificar las diferencias sexuales en los estados subjetivos de los sujetos durante la ejecución de las tareas, en entornos con y sin marcas.
5. Establecer los rangos de ejecución en tareas de navegación espacial con base en la media del desempeño del total del grupo que sirvan como base para definir criterios de selección de sujetos para la posterior investigación sobre diferencias sexuales en el desarrollo de habilidades de navegación espacial y sus efectos en el EEG.

Variable independiente:

Sexo

Variables dependientes:

Ejecución en tareas de navegación espacial en entornos virtuales
Estrategias empleadas para la navegación espacial en entornos virtuales.

Variables controladas:

Entornos urbanos desconocidos con y sin marcas.
Edad
Nivel académico
Déficit visual
Sin antecedentes de alteraciones neurológicas
Capacidad intelectual

Lateralidad manual
Irregularidades en el ciclo menstrual
Consumo de drogas o medicamentos que afectasen el sistema nervioso.

Método

Sujetos

Características:

Participaron estudiantes voluntarios del último año de bachillerato, de la Escuela Preparatoria Número 5 de la Universidad de Guadalajara. Se formaron dos grupos de sujetos, un grupo de 19 hombres y otro de 19 mujeres.

Criterios de Inclusión:

Cursar el último año del bachillerato.
Diestros.

Criterios de no inclusión

Marearse al practicar video juegos
Usar gafas
Deficiencia visual no corregida
Consumo de drogas que afectasen el sistema nervioso
Antecedentes de alteraciones neurológicas
Antecedentes de alteraciones en el ciclo menstrual
Consumir algún medicamento que afectase el S.N.
Capacidad intelectual en el rango de deficiente.

Criterios de exclusión

Sentir mareo o cualquier malestar con el empleo de los lentes de realidad virtual.
Deserción.

Proceso de selección de los sujetos:

Se realizó una sesión de selección, aplicando las siguientes pruebas:

Prueba de agudeza visual

Se empleó la Tarjeta de Snellen, para sujetos letrados. Permite evaluar la agudeza visual. Se pidió al sujeto se coloque a 3.05 mts. de la tarjeta y se cubra un ojo con una tarjeta y comience a leer la línea de letras correspondiente a la visión de 20/20, una vez que lee la línea con un ojo, se le pide haga lo mismo con el otro ojo. Se seleccionaron sujetos con agudeza visual de 20/20 no corregida.

Prueba de lateralidad de Annet

Se le pidió al sujeto que realizaran las siguientes actividades: anotar su nombre en un papel, recortar el papel empleando tijeras, encender un fósforo, cepillarse los dientes, ensartar la hebra de un hilo por el ojo de una aguja, golpear un clavo con un martillo, dar un naipe, mirar a través de un orificio en una regleta, lanzar una pelota con una mano, patear una pelota con un solo pie. Permite determinar la lateralidad de los sujetos en mano, pie, ojo (Annet, 1967). Se seleccionaron sujetos diestros en el 100% de las tareas de la prueba.

Historia clínica

Se les realizó a los sujetos una entrevista sobre su historia clínica, tratando de identificar sujetos sanos, sin antecedentes de alteraciones en el sistema nervioso, enfermedades crónicas o agudas, alteraciones en el ciclo menstrual (ver anexo A1). Se seleccionaron sujetos sanos.

Cuestionario de consumo de sustancias tóxicas

Se les aplicó un cuestionario para identificar usuarios de drogas ilícitas y alcohol. (ver anexo B1) Se seleccionaron sujetos que no consumían ninguna droga ilícita, ni tenían hábitos de consumo abusivo de alcohol.

Prueba de matrices progresivas, escala general (Raven).

Esta prueba evalúa la capacidad intelectual con base en razonamiento inductivo. Mide la capacidad para desplegar constructos de algún nivel que hagan más fácil pensar sobre situaciones y acontecimientos complejos (Raven, et al. 1999). Este es un test de razonamiento no verbal; consta de 5 series de 12 láminas. Al sujeto se le presenta una secuencia de figuras incompletas, la cual debe concluir eligiendo de un número limitado de opciones (6 u 8) que se le presentan.

En la prueba de Matrices Progresivas, escala general, cada figura geométrica implica un patrón de pensamiento incompleto, una matriz. Para su realización implica las tareas internas de percepción observación, comparación y razonamiento analógico.

La prueba de Matrices progresivas no muestra estar influido de manera definitiva por variables como cultura, estatus socioeconómico, capacidad verbal, siendo la variable más importante en su aplicación la edad; en su escala general es aplicable a sujetos de 12 a 60 años. Se empleó la adaptación argentina de los baremos, producto de su normalización en la Capital Federal de la República de la Argentina en 1993.

Se seleccionaron sujetos que no presentaron capacidad intelectual en el rango de deficiente.

Procedimiento

Para seleccionar los sujetos que participaron en el experimento, de un universo de 600 sujetos, se evaluaron 127 sujetos, seleccionándose 46 de ellos para realizar la tarea de navegación espacial, ya que cumplieron con los criterios de inclusión y no inclusión, 8 de ellos se excluyeron de la muestra final por presentar criterios de exclusión. Con los 38 sujetos participantes se formaron 2 grupos (uno de cada sexo) con 19 integrantes cada uno.

Las características de los individuos que participaron en el experimento fueron: 19 hombres y 19 mujeres, estudiantes del último año del bachillerato de la Escuela Preparatoria Núm. 5 de la Universidad de Guadalajara, sanos (historia clínica), diestros (Annet 1967), con capacidad intelectual normal o superior al término

medio (Raven et al. 1999, escala general) (Ver Tabla 1), con agudeza visual normal (20/20 –Tarjeta de Snelle) y ninguno consumía sustancias que afectaran el sistema nervioso.

Tabla 1.
Media y desviación estándar de edad, escolaridad y puntaje bruto en la prueba de Raven.

Sexo	Edad	Semestre	Raven
Hombres	17,15 ± 0,87	5,2 ± 0,41	52,75 ± 3,08
Mujeres	17.05 ± 0,6	5,1 ± 0,31	49 ± 4,27

Previo a la evaluación de las habilidades e navegación, el mismo día se realizó una prueba de mareo y entrenamiento en el manejo de los controles del teclado para el desplazamiento en el entorno, la imagen fue desplegada primero en una pantalla plana de 16", y se usó una PC Pentium IV, a 1.4Ghz. y posteriormente mediante unos lentes de realidad virtual inmersiva (headmounted, personal display, 60 hz. resolución de 1.4 millones de píxeles, 31 grados de libertad en la visión, de visión estereoscópica, marca I-visor). El software usado fue *Northdragon*, *Webmaker*, producido por *3dstate* diseñado para juegos 3D en línea, el diseño de los entornos fue por nosotros mismos.

El entorno de entrenamiento fue sin marcas, con extensión de 3 cuadras, limitadas por un muro perimetral, con posibilidades de desplazamiento hacia delante, hacia atrás, giro hacia la derecha y giro hacia la izquierda, con la posibilidad de avanzar o retroceder y al mismo tiempo dar vuelta. Los desplazamientos se realizaban con las flechas del desplazamiento del cursor en el teclado.

Las instrucciones que se le dan al sujeto son: "Esta es una actividad para saber si te mareas con la tarea y aprendas a desplazarte en el entorno, debes desplazarte por donde tu quieras, de la forma más rápida que puedas, sin hacer nada más, trata de dar las vueltas lo más rápido posible, si llegarás a sentir algún malestar por favor dímelo inmediatamente" La tarea para conocer la sensibilidad de mareo tuvo una duración 8 a 10 minutos.

Una vez concluido el entrenamiento sobre el desplazamiento, se realizaron las tareas de navegación espacial sobre habilidades implicadas para encontrar el camino en dos entornos virtuales urbanos desconocidos: a) con marcas, b) sin marcas en ellos.

La realización de las tareas de navegación espacial se hizo de forma individual, con la presencia de un evaluador.

La sesión se videograbó para poder analizar, posteriormente, con precisión los movimientos realizados por los sujetos.

Al mismo tiempo que los sujetos estaban realizando las tareas, se les pidió dieran explicación sobre la forma en la cual realizaron las tareas, audiograbando sus respuestas, para poder dar cuenta de las estrategias y vincularlas con las decisiones durante la navegación (Ver Fig. 1).

Presentación de tareas:

Las primeras tareas se realizaron en el entorno con marcas, ya que el sujeto haría uso de las estrategias que emplearía en un entorno real; después se realizaron las tareas en el entorno sin marcas.

Tareas de navegación espacial (Wayfinding).

Los entornos virtuales, en el cual los sujetos realizaron las tareas, tuvieron como base una organización cuadrangular, con avenidas principales, avenidas secundarias y calles, con una extensión de 15 x 15 cuadras; en un mismo plano. Todas las tareas se realizaron con una perspectiva a nivel de piso o de primera persona, con la libertad en el campo visual propia de los implementos usados y de los desplazamientos que realizaban.

Las características de los entornos eran:

- Con marcas: edificios diferentes en cuanto al color, forma, tamaño, arbolado, parques, casetas telefónicas, cajeros automáticos. El entorno tenía una avenida principal perpendicular y una avenida secundaria paralela con respecto a la calle del punto de partida (ver anexo C1).

- Sin marcas: edificios eran iguales en forma, tamaño, color, altura, sin objeto alguno diferente de los edificios y las calles. El entorno contaba con dos avenidas principales paralelas y una avenida secundaria perpendicular en relación con la calle del punto de partida (ver anexo C1).

Tareas realizadas por los sujetos en ambos entornos:

- 1) Caminata libre en el entorno (3 min.) (Evalúa la habilidad de orientación).
- 2) Reorientarse al punto de partida (5 min. máx.) (Evalúa las habilidades de orientación, toma de decisión sobre el camino a seguir y monitoreo constante del camino, y reconocimiento del destino).
- 3) Llegar al lugar blanco (5 min. Max.) y regresar a punto de partida (5 min. máx.) (en tres lugares blanco diferentes) (Evalúa las habilidades de: orientación, toma de decisión, monitoreo del camino y reconocimiento del destino).

Para llegar al lugar blanco se mostraba previamente una ruta de guía que no era recta; la ruta era recorrida pasivamente. La distancia lineal a los lugares blanco era la misma, con respecto del punto de partida; la ruta guía mostraba un número de vueltas similar para llegar a los lugares blanco, siendo posible realizar las rutas de manera más directa del punto de partida a los lugares blanco.

Instrucciones en las tareas de navegación espacial.

Actividades 1,2: "A continuación tendrás un tiempo de 3 minutos para desplazarte libremente en la ciudad, no tienes ninguna limitante para ello, el objetivo es que conozcas el entorno, una vez transcurridos los 3 minutos deberás regresar al punto de partida por la ruta que consideres más adecuada, de la forma más rápida que puedas".

Actividades 3: "A continuación te mostraremos un destino al cual deberás llegar de manera rápida y por la ruta que consideres más adecuada; Primero te mostraré una ruta para llegar al objetivo, para que conozcas donde se encuentra, pon mucha atención en ella, ya que se te mostrará sólo una vez. Luego, deberás llegar por ti mismo al objetivo que recién te mostré, utiliza la ruta que consideres más adecuada para lograrlo. Después que llegues al objetivo deberás regresar al punto

de partida de forma rápida y por la ruta que consideres más adecuada. Una vez que llegues al punto de partida te mostraré otro destino”.

Indicadores de ejecución durante las tareas.

Caminata libre

- Distancia recorrida linealmente (distancia que se desplazaba el sujeto medida en cuadras)
- Máxima distancia recorrida del punto de partida en línea recta (máxima distancia, medida en cuadras, que recorría el sujeto en una dirección a partir del punto de origen)
- Porcentaje de la distancia recorrida en sectores visitados (por ciento de la distancia recorrida linealmente, los sectores se establecieron en cuadrángulos concéntricos a la redonda del punto de origen en cuadras a: 6x6, b: 8x11, c: 15x15)
- Número de vueltas realizadas durante el recorrido,
- Giros para observar (número de veces que el sujeto se detuvo en una intersección para buscar visualmente algún elemento en las calles contiguas).

Llegar al lugar blanco:

- Eficiencia para llegar al lugar blanco. (Número de veces que el sujeto llegó al lugar blanco, lapso no mayor de 5 minutos para cada lugar blanco).
- Distancia recorrida fuera de la ruta al desplazarse al lugar blanco (número de cuadras extra recorridas en relación con la ruta mostrada y/o la ruta ideal más directa para llegar al lugar blanco),
- Distancia recorrida alejándolo del lugar blanco (número de cuadras recorridas en dirección opuesta al lugar blanco),
- Número de vueltas equivocadas (vueltas realizadas en dirección opuesta a la ubicación del lugar blanco),

- Giros para observar y buscar (número de veces que el sujeto voltea, en una intersección haciendo alto para observar buscando visualmente algún elemento o el objetivo mismo),
- Tiempo perdido en la navegación hacia el lugar blanco (diferencia del tiempo realizado en la ruta recorrida de muestra y el tiempo realizado por el sujeto, para llegar a los lugares blanco),
- Tipo de ruta empleada para llegar a los lugares blancos (4 tipos: igual a la mostrada, con menor número de vueltas a la mostrada, en ángulo recto hacia el lugar blanco, equivocada en por lo menos dos cuadras de diferencia de la ruta mostrada o en ángulo recto).

Evaluación de las estrategias empleadas en la navegación espacial.

Se pidió al sujeto explicara la forma en la cual se había orientado en el entorno, la manera en la que había decidido la ruta para llegar al lugar blanco al terminar cada una de las tareas.

Una vez terminadas las tareas en ambos entornos, se realizó una entrevista semiestructurada para conocer sus estrategias de navegación y errores cometidos en ambos entornos, comparándolos entre sí y respecto de la manera habitual de navegar en las calles.

Evaluación de estados subjetivos durante la navegación.

Se realizó una evaluación subjetiva mediante escalas analógicas para cada uno de los entornos de: a) atención durante la tarea; b) ansiedad al realizar la tarea; c) seguridad durante la realización; d) sensación de fatiga y e) percepción de la facilidad de la tarea (ver anexo D1)

Análisis de datos:

Las medidas conductuales de ejecución de las tareas de navegación espacial en los entornos fueron:

Caminata libre

Distancia recorrida linealmente (en cuadras),

Máxima distancia recorrida del punto de partida en línea recta,
Cuadrantes visitados (por ciento de distancia recorrida),
Número de vueltas,
Giros para observar.

Encontrar el lugar blanco y regresar a punto de partida:

Eficiencia para llegar el lugar blanco y regresar al punto de origen,

Distancia recorrida fuera de la ruta al lugar blanco,

Distancia recorrida que lo aleja del lugar blanco,

Número de vueltas equivocadas,

Giros para observar y buscar el lugar blanco,

Tiempo perdido en la navegación hacia el lugar blanco,

Tipo de ruta empleada para llegar al lugar blanco.

Se realizó un análisis estadístico no paramétrico para cada medida conductual: por sexo la prueba de U de Mann Whitney, para cada indicador, en cada una de las actividades (caminata libre, llegar al lugar blanco).

Con las estrategias de navegación se realizó un análisis cualitativo, haciendo un proceso de descripción y categorización, para posteriormente hacer un análisis de frecuencia por sexo y por entorno, a través de Ji cuadrada.

Sobre los estados subjetivos se analizaron por sexo y por entorno a través de t de student.

Diseño experimental

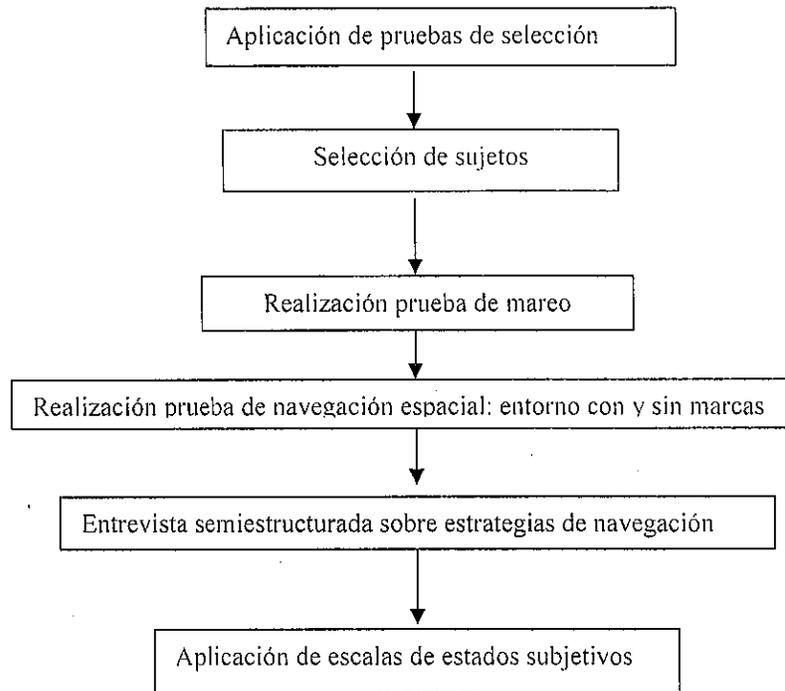


Fig. 1. Diseño Experimental

Resultados

Los resultados obtenidos en la ejecución de las tareas de navegación se presentan indicador por indicador, como previamente apareció en el apartado de indicadores de la tarea.

Actividad: Caminata Libre

No se observaron diferencias sexuales en ambos entornos en: distancia recorrida linealmente, máxima distancia recorrida en línea recta desde el punto de origen, porcentaje de distancia recorrida linealmente en cada sector del entorno

En cuanto al número de vueltas durante los recorridos los hombres hicieron mayor número de vueltas que las mujeres en el entorno con marcas ($p < 0.01$) y sin marcas ($p < 0.02$) (ver tabla 2).

Tabla 2:
Media y desviación estándar del número de vueltas realizadas durante la actividad de caminata libre.

Entorno	Hombre	Mujer
Con marcas	11.26 ± 3.52	8 ± 3.65
Sin Marcas	10.68 ± 5.12	7.68 ± 5.58

En el número de giros durante los recorrido para observar y buscar visualmente algo en el entorno se encontraron diferencias sexuales, los hombres voltean más en comparación a las mujeres en el entorno con marcas ($p < 0.01$) (ver tabla 3).

Tabla 3:
Media y desviación estándar del número de giros para buscar el lugar blanco durante la caminata libre.

Entorno	Hombre	Mujer
Con marcas	4.63 ± 4.01	1.9 ± 2.85
Sin Marcas	5.68 ± 7.57	6.74 ± 7.67

Actividad: Llegar al lugar blanco y regresar a punto de partida:

Los hombres, en comparación con las mujeres llegaron con mayor frecuencia al lugar blanco en el entorno con marcas ($p < 0.0009$) y sin marcas ($p < 0.0015$); recorrieron menor distancia fuera de ruta en el entorno con marcas ($p < 0.005$) y sin marcas ($p < 0.001$); recorrieron menor número de cuadras que los alejara del lugar blanco en el entorno con marcas ($p < 0.005$) y sin marcas ($p < 0.001$); realizaron menor número de vueltas equivocadas en el entorno con marcas ($p < 0.005$) y en el entorno sin marcas también ($p < 0.02$) (Ver Fig. 2).

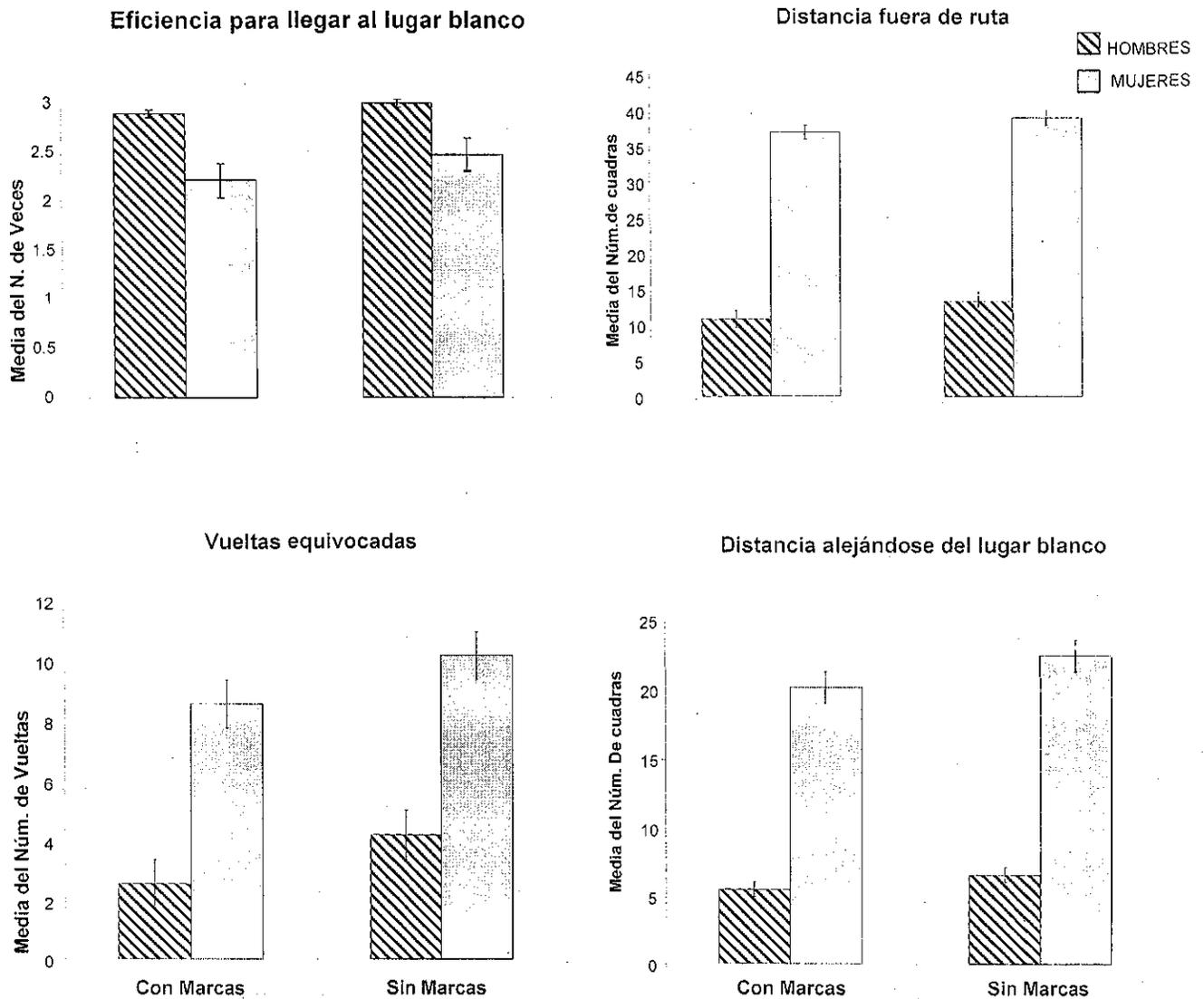


Figura 2: Media y error estándar por indicador, en ambos entornos.

Las mujeres realizaron mayor número de giros para observar y buscar el lugar blanco en el entorno con marcas ($p < 0.001$) y en el entorno sin marcas ($p < 0.05$); así como al regresar al punto de partida en el entorno sin marcas ($p < 0.05$); realizaron mayor tiempo del esperado en sus desplazamientos al lugar blanco sólo en el entorno sin marcas ($p < 0.05$) (Ver Fig. 3).

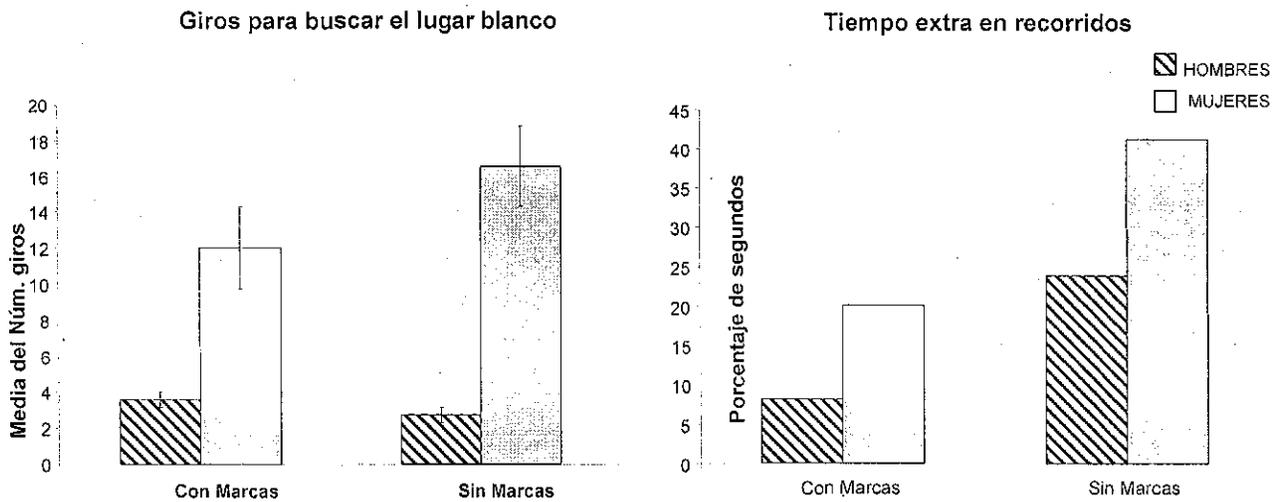
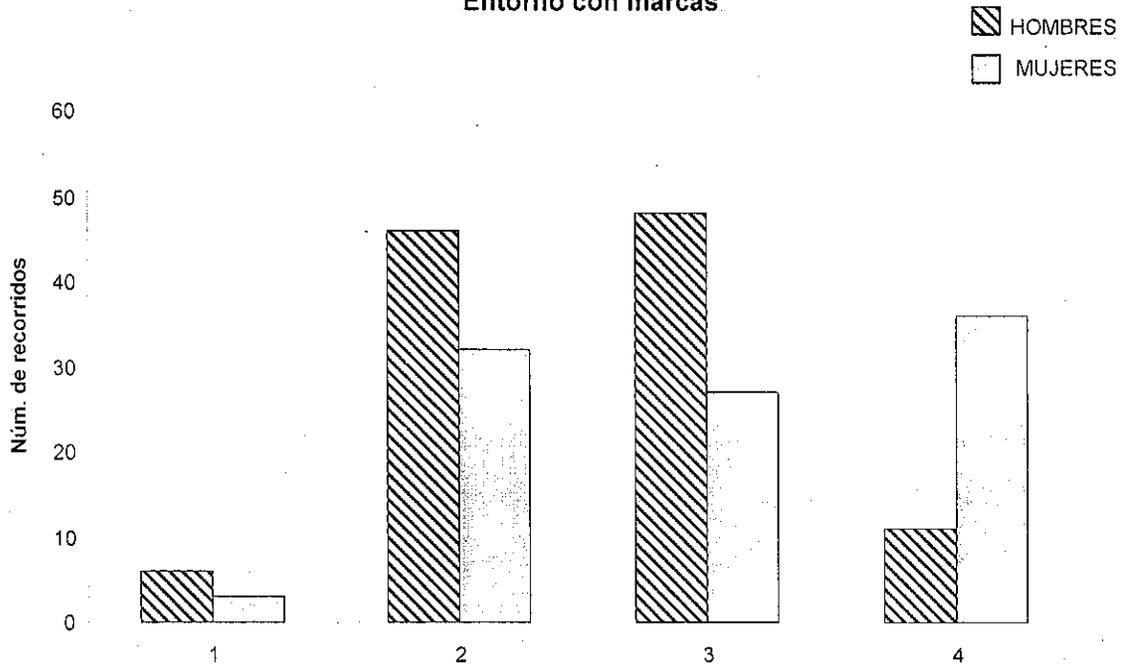


Figura 3: Media y error estándar por indicador, en ambos entornos.

Para el tipo de ruta empleado para llegar al lugar blanco los hombres prefirieron rutas directas, en tanto las mujeres realizaron más rutas equivocadas en el entorno con marcas ($p < 0.001$); en el entorno sin marcas tanto hombres como mujeres prefirieron rutas directas, aunque las mujeres con menor frecuencia y eligieron mayor número de veces rutas equivocadas ($p < 0.01$) (Ver Fig. 4) (Ver Anexo E1).

**Tipo de ruta para llegar al lugar blanco
Entorno con marcas**



Entorno sin marcas

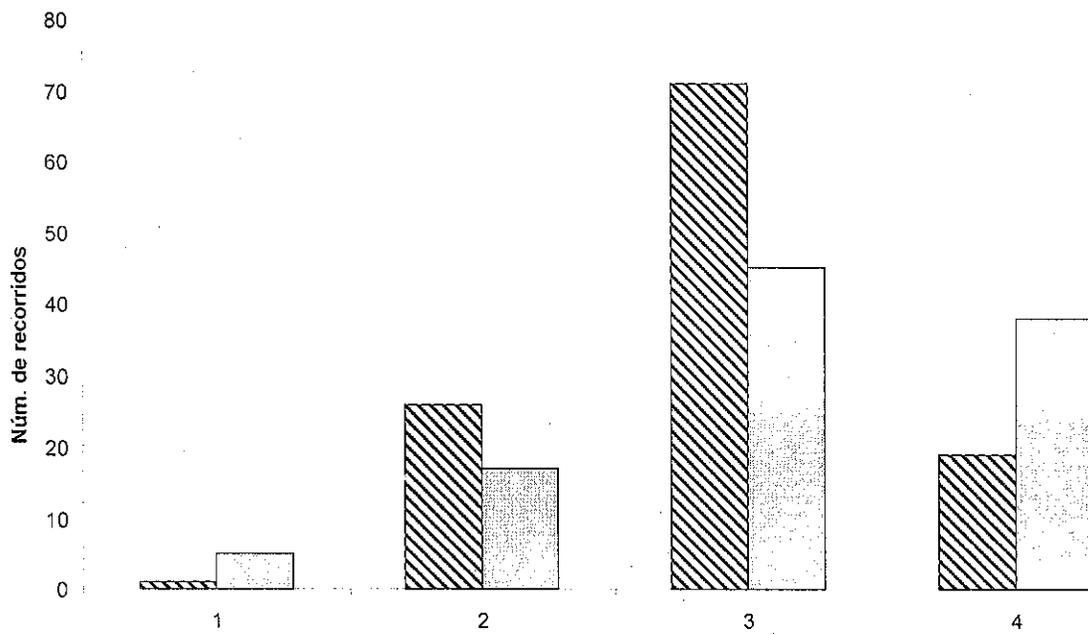


Figura 4. Frecuencia en el tipo de ruta empleado para llegar al blanco. 1: ruta directa, 2: ruta con menos vueltas, 3: ruta igual a la guía 4: ruta equivocada.

En cuanto al tipo de estrategia empleada para navegar en el entorno con marcas los hombres usaron estrategias mixtas, que integraban estrategias de localización de marcas, conteo de calles y ubicación según coordenadas mediante el establecimiento de ejes y/o bordes del entorno. Las mujeres optaron por emplear igualmente estrategias mixtas, que integraban ubicación de marcas y conteo de cuadras ($p < .05$).

Las estrategias para navegar en el entorno sin marcas fueron: los hombres usaron estrategias mixtas integrando conteo de calles, establecimiento de coordenadas y en menor número emplearon marcas; las mujeres, en su mayoría, optaron por emplear estrategias mixtas ubicación de marcas y conteo calles ($p < .02$). En este entorno las únicas marcas con la que se contaba fueron las avenidas.

Otro indicador asociado con el tipo de estrategia empleada durante las tareas de navegación es la forma en la cual los sujetos visualizaron el entorno, ésta se relaciona con el tipo de forma de acercarse a la representación del entorno, teniendo dos formas: por un lado, vista superior o en tercera persona, en la cual el sujeto imagina el entorno visto desde un plano superior o en forma de mapa o croquis, es una representación bidimensional del espacio y, por otro lado, una vista de primera persona o de vista de piso o representación de ruta, en la cual el sujeto imagina el entorno en tres dimensiones como si fuera desplazándose en él.

Los hombres representaban el entorno con base en coordenadas (establecimiento de ejes cartesianos y límites de la ciudad), con una visualización área o en tercera persona, siendo una representación abstracta y simplificada. Las mujeres representaban el entorno con base en las marcas en él, con una visualización a nivel de piso o en primera persona, siendo una representación contextualizada y con mayor número de elementos. En este caso la diferencia no fue significativa.

Para el entorno sin marcas los hombres emplearon estrategias de coordenadas (ejes y bordes) y conteo de calles, aunado a la visualización en tercera persona del entorno, en las mujeres siguió predominando la estrategia de ubicación de marcas y contar calles aunado a la visualización en primera persona del entorno

(ver tablas 4 y 5). Al igual que en el entorno con marcas, las diferencias no fueron estadísticamente significativas.

Tabla 4:

Frecuencia en el tipo de estrategias y visualización empleadas durante la navegación espacial en el entorno con marcas¹.

Sexo	Estrategias				Visualización	
	Marcas	Coordenadas	Conteo	Otra ²	3era. persona	1era. persona
Hombres	18	10	18	0	12	12
Mujeres	18	3	16	3	7	17

Tabla 5:

Frecuencia en el tipo de estrategias y visualización empleadas durante la navegación espacial en el entorno sin marcas.

Sexo	Estrategias				Visualización	
	Marcas	Coordenadas	Conteo	Otra	3era. persona	1era. persona
Hombres	8	14	19	0	12	11
Mujeres	18	4	18	3	6	17

Estados subjetivos asociados a la realización de las tareas de navegación

Los hombres se sintieron más seguros ($p < 0.0001$), consideraron la tarea simple (0.0003) y fácil de realizar ($p < 0.0001$) en comparación con las mujeres en el entorno con marcas. A su vez, se sintieron más atentos en el entorno sin marcas ($p < 0.03$) (ver Tabla 6).

¹ En la tabla se anotan las estrategias por categorías, pero cabe señalar que un mismo sujeto empleaba varias de manera simultánea, dando como resultado el empleo de estrategias mixtas al navegar.

² La categoría "Otra" podría implicar navegar en zig zag, navegar en espirales o navegar sin una dirección fija hasta encontrar el lugar blanco

Tabla 6.
Media y desviación estándar de los estados subjetivos significativos, durante las tareas de navegación

	Entorno con marcas			Entorno sin marcas
	Seguro	Simple	Fácil	Atento
Hombres	9.2 ± 0.8	8 ± 1.8	8.9 ± 1.1	8.3 ± 1.7
Mujeres	6.6 ± 2	5.2 ± 2.4	5.7 ± 2.3	7 ± 1.6

En cuanto la relación de los estados subjetivos con la ejecución en las tareas se observó en los hombres una correlación negativa entre la atención y la distancia recorrida fuera de ruta en el entorno con marcas y con las veces que voltearon buscando el blanco en el entorno sin marcas, así como con el interés en la tarea en el entorno con marcas.

Para las mujeres se observó una correlación negativa entre la seguridad al realizar la tarea y la distancia recorrida fuera de ruta y el número de veces que voltearon buscando el blanco en el entorno con marcas; la percepción de simplicidad y facilidad de la tarea con las veces que voltearon buscando el blanco, en el entorno sin marcas. La atención se correlacionó negativamente con la distancia fuera de ruta en el entorno con marcas. Se correlacionó positivamente la seguridad sentida y la simplicidad de la tarea con el número de veces que llegaron al blanco en el entorno con marcas.

Con base en los resultados se pudo determinar que los indicadores más representativos para evaluar la eficiencia de la ejecución en las tareas de navegación espacial fueron: el tiempo perdido para llegar al lugar blanco, el número de veces que llegaron al lugar blanco.

Estos elementos permitieron establecer los criterios de selección de los sujetos para el estudio posterior (Experimento 2) sobre el desarrollo de habilidades de navegación espacial y sus efectos en el EEG de la siguiente manera:

Indicador	Rango de inclusión
Tiempo perdido para llegar al lugar blanco	14 a 88 seg.
Número de veces que llega al lugar blanco	3 a 5 veces.

Discusión Experimento 1

Los resultados sugieren que existen diferencias sexuales en la ejecución de tareas de navegación espacial en entornos virtuales urbanos desconocidos con y sin marcas. Se observó que los hombres navegaron más rápido y menor distancia fuera de ruta, hicieron menos vueltas equivocadas y llegaron con mayor frecuencia al lugar blanco.

Resultados similares fueron obtenidos por Grön, et al. (2000) y Sandstrom, et al. (1998) observando que los hombres se desplazan con mayor velocidad en comparación a las mujeres, en laberintos virtuales; así como Schmitz (1997) hizo la misma observación en entornos reales desconocidos.

Las diferencias sexuales no pueden ser atribuidas a que los hombres pudieran estar más familiarizados con el "hardware" para el desplazamiento como se ha señalado en algunos estudios (Hunt y Waller, 1999; Allayrah y Hunt, 2003), ya que para limitar este efecto, se empleó para el desplazamiento el teclado ordinario y existió un límite máximo de velocidad haciendo que la velocidad de navegación fuera la misma para ambos sexos.

Una posible explicación pudiera estar basada en el tipo de estrategia empleada por hombres y mujeres. Schmitz (1997) señaló que la menor velocidad de navegación de las mujeres, se debe a que prefieren una estrategia de ruta, basada en la ubicación de marcas, para lo cual su desplazamiento debe ser más lento, de forma que les permita ubicar las marcas en la ruta de forma ordenada. En el presente estudio, los hombres refirieron que en el entorno con marcas emplearon ubicación de marcas, conteo de calles y establecimiento de coordenadas para desplazarse. Entonces si los hombres y las mujeres emplearon la ubicación de marcas en el entorno, las diferencias en su ejecución no estarían dadas sólo por el uso de las mismas, sino por el número de marcas que requiere uno y otro sexo para formar la representación del entorno para navegar.

También, Schmitz (1997) asoció la velocidad en el desplazamiento de los hombres con la confianza personal de los sujetos en su competencia para navegar. En presente experimento, se observó una correlación positiva entre la seguridad personal de los hombres y su velocidad de navegación, lo que implicaría que la

confianza de no perderse en los entornos, les permite desplazarse más rápidamente. Sin embargo, en entorno sin marcas, aunque tanto hombres como mujeres se sintieron inseguros y ansiosos, se observaron diferencias sexuales en la ejecución. En este sentido, en los hombres se observó que la variable subjetiva más importante en el entorno sin marcas fue la atención durante la realización de la tarea.

En este sentido, podría pensarse que la mayor precisión y menor tiempo perdido de los hombres se puede deber a una serie de factores que intervienen de manera conjunta. Por un lado, no se refiere sólo al uso de marcas para navegar, sino al número de marcas requeridas para hacerlo de manera adecuada, así como de la atención requerida durante la realización de la tarea, aludiendo con ello a dos procesos ejecutivos importantes memoria de trabajo y atención.

A estos argumentos, se suman las exigencias propias del diseño de la tarea, en cuanto se solicitó a los sujetos, precisión con un tiempo limitado para cumplir con la tarea. Voyer, et al. (1995) mencionaron que los hombres ejecutan mejor que las mujeres cuando tienen un tiempo límite y se les pide precisión al realizar las tareas, como se hizo en el presente trabajo, lo cual pudiera haber influido en acentuar las diferencias sexuales.

Se observó sustento para la hipótesis planteada en cuanto a que se observarían diferencias sexuales en el uso de estrategias para navegar en entornos virtuales. Los hombres utilizan estrategias mixtas de determinación de coordenadas, incluyendo la ubicación de marcas y el conteo de calles y emplean tanto una representación del entorno como mapa o croquis como en primera persona. En cambio, las mujeres emplean estrategias mixtas sustentadas en ubicar marcas y contar calles, empleando una representación del entorno en primera persona. Esto coincide con lo señalado por otros autores (Sakthivel, et al. 1999; Sandstrom, et al. 1998; Grön, et al. 2000) en cuanto a que hombres y mujeres emplean diferentes estrategias para navegar en entornos virtuales.

En el presente estudio, las estrategias empleadas en la navegación se vieron reflejadas en el tipo de ruta seleccionada para llegar al lugar blanco. Los hombres prefirieron usaron rutas directas; las mujeres, por su parte, usaron rutas con base a su experiencia en el entorno. Esta misma situación fue descrita por Lawton (1996),

Saucier, et al. (2002) y Burns (1999) en el sentido que las mujeres prefieren navegar por rutas conocidas.

Las explicaciones a las diferentes estrategias empleadas por hombres y mujeres al navegar han sido diversas. Shelton y Gabrieli (2004) observaron que los sujetos con mayor habilidad para rotar mentalmente figuras de 2D, evaluada mediante la prueba de Shepard tuvieron mayor facilidad para emplear una navegación con una vista aérea del entorno, en cambio aquellos con menores puntajes en la tarea de rotación mental refirieron mayor dificultad para navegar con perspectiva aérea, prefiriendo la navegación de ruta. Glück y Fitting (2003) propusieron que las mujeres emplean la estrategia de ruta para navegar por una preferencia y no, por limitaciones en procesos espaciales.

El que los hombres emplearan rutas directas o atajos, a pesar de no conocer el entorno, se pudiera relacionar con la capacidad de éstos para mantener en la mente la ubicación del destino, con base en una representación abstracta del entorno, apoyada en un sistema cartesiano de coordenadas, que los hace perder menos la ubicación del lugar blanco y del punto de origen y emplear menos tiempo en sus desplazamientos. Esta misma situación fue señalada por Galea y Kimura (1993) al realizar tareas de navegación espacial en test de papel y lápiz, así como por Sandstrom, et al. (1998), Grön, et al. (2000) en navegación en entornos virtuales.

Sin embargo, una explicación alternativa, sería pensar que la representación abstracta del entorno como mapa, requiere de menor esfuerzo mental para retener la información indispensable para navegar, lo cual podría ser compatible con el uso de marcas, pero con un número pequeño. Esta estrategia preferida por los hombres les permite hacer un uso más eficiente de la memoria de trabajo.

La estrategia femenina para navegar con base en su experiencia pudiera estar relacionada con el hecho que seleccionaron más rutas equivocadas y buscaron los lugares blanco volteando calle por calle. El buscar el lugar blanco visualmente, pudiera relacionarse con la estrategia de navegación de ruta, la cual se sustenta en la ubicación espacial de marcas a lo largo de su desplazamiento. Estas dificultades en la navegación pudieran ser por la necesidad de recordar tantos elementos del entorno como fuera posible para evitar extraviarse, lo cual les provoca mayor

esfuerzo en la memoria de trabajo y la atención, mayor dificultad para rotar mentalmente en el entorno y más tiempo para tener una representación del entorno adecuada para navegar.

El focalizar la atención y tratar de memorizar la ubicación de tantas marcas como hay en el entorno, no siempre resulta una estrategia adecuada para navegar. Darken y Peterson (2002) indicaron que una de las ayudas más importantes para la navegación en entornos virtuales son las marcas, sin embargo, también señalaron que la presencia de muchas marcas provoca confusión en los sujetos, generando errores en la navegación. Un hecho similar fue observado por Sandstrom, et al. (1998) al colocar marcas de manera azarosa en el entorno, provocando más errores en la navegación de las mujeres, ya que las mujeres dependen en mayor medida de las marcas y los hombres, usan además de las marcas, el establecimiento de coordenadas cartesianas. Bischof y Boulanger (2003) observaron que los sujetos tenían más errores al navegar en un laberinto cuando éste tenía paredes de diferentes colores en los puntos de intersección ya que saturaba la memoria de trabajo de los sujetos al intentar memorizar los colores de las paredes y las direcciones en la secuencia de vueltas en el laberinto para salir de él, observando que los sujetos aprendían en un menor número de ensayos el salir del laberinto, cuando las paredes eran de un mismo color. Su explicación al respecto, fue que el carecer de colores, permitió a los sujetos enfocarse en una sola estrategia para salir de laberinto y memorizar la secuencia de vueltas derecha-izquierda.

En el presente estudio, como las mujeres trataron de navegar con base en la memorización de la ubicación de las marcas y el conteo de calles se pudo haber generado una confusión en ellas, provocando la elección de rutas equivocadas en el entorno con marcas. Esto se relaciona con lo señalado por diversos autores en cuanto a que las características del entorno podrían llegar a favor una determinada representación del mismo (Cornell, et al. 2002; Darken, 1995; Newman, et al. 2002; Satalich, 1995). Las mujeres ponen más atención a las marcas en la ruta durante la navegación, en comparación a los hombres, lo cual provoca en ellas una saturación en la memoria de trabajo y mayores requerimientos en la atención, lo cual sólo se puede subsanar con constantes recorridos en los entornos para almacenar la

información en la memoria de largo plazo, que permitiría tener memoria de trabajo disponible para notar marcas nuevas y orientarse mejor. Este punto daría mayor sentido a la apreciación de Voyer, et al (1995) en razón a que el limitar los tiempos de navegación a los sujetos afectaría más a las mujeres, ya que requerirían mayor número de recorridos para generar una representación del entorno lo suficientemente adecuada para la navegación. La carencia de marcas en el entorno redujo las demandas de memoria de trabajo y focalizó la atención de los sujetos.

En cuanto a la influencia de los estados subjetivos en la navegación espacial se observó que éstos inciden en la ejecución. Se observaron diferencias sexuales en los estados subjetivos durante la navegación, los hombres se sintieron más seguros, consideraron la tarea más fácil y sencilla en el entorno con marcas. En los hombres se observó una correlación negativa entre la seguridad sentida por los sujetos con la distancia recorrida fuera de ruta y las vueltas equivocadas y se correlacionó positivamente con las veces que llegaron al lugar blanco. En el entorno sin marcas el aspecto subjetivo que afectó el desempeño fue la atención. Estos datos coinciden con los obtenidos por Lawton (1996), Lawton y Kallai (2002) y Schmitz (1999) en el sentido que los estados emocionales son importantes para el desempeño de la navegación. De la misma manera, Kitchin (1996) considera que el conocimiento y navegación en un entorno tiene contenidos emocionales importantes. Sin embargo, los datos obtenidos no resultaron significativos para afectar la navegación de los sujetos en entornos virtuales desconocidos, ya que en el entorno sin marcas no hubo diferencias sexuales en los estados subjetivos, ni se correlacionaron con la ejecución a excepción de la atención durante la realización de la tarea.

Se podría proponer una explicación complementaria a esta última en razón de las demandas cognitivas para las mujeres al realizar la navegación con base en una representación de ruta del entorno, referida egocéntricamente. Es decir, la desconfianza de las mujeres en sus habilidades de navegación las lleva a preferir estrategias de marcas al navegar, sin embargo esta estrategia les implica grandes demandas de esfuerzo mental, en especial en la memoria de trabajo y procesos atentos, lo cual provoca mayor errores cuando los entornos son desconocidos, ya que incrementan aún más sus demandas cognitivas para cumplir con la tarea.

En resumen, podemos señalar que los hombres navegan con mayor eficiencia que las mujeres con independencia del entorno, llegando con mayor frecuencia al lugar blanco, recorriendo menor distancia fuera de ruta y realizando menos vueltas equivocadas. Además, los hombres y las mujeres usan diferentes estrategias para navegar, siendo que los hombres emplean información configuracional y de marcas del entorno y las mujeres mayormente de marcas. Pero pareciera que el uso de diferentes estrategias pudiera estar correlacionado con un uso más eficiente de procesos ejecutivos centrales, particularmente de memoria de trabajo y atención durante la navegación espacial. Aun falta un mayor número de investigaciones que nos pudieran ayudar a explicar con mayor precisión dichas diferencias sexuales en la ejecución de las tareas de navegación espaciales en entornos virtuales.

Este estudio apoya la idea de que existen diferencias sexuales en la ejecución y las estrategias en la navegación espacial en entornos virtuales desconocidos. Es de relevancia que las diferencias sexuales observadas fueron en entornos urbanos que tienen mayor validez ecológica por semejar más las condiciones reales, en comparación a los estudios realizados en laberintos, que observaron diferencias sexuales en condiciones menos semejantes a la navegación en la vida cotidiana. Los resultados sugieren que las diferencias sexuales no dependen de manera importante de las emociones involucradas durante la navegación, ni de los dispositivos usados para desplazarse en los entornos virtuales.

Otro aspecto relevante del presente estudio fue comparar las diferencias sexuales en la ejecución de los mismos grupos de sujetos en entornos con diferentes características, en este caso con y sin marcas, aportando en el sentido que los sujetos, particularmente los hombres ajustan las estrategias a los entornos y las mujeres tienen más dificultad para ello.

Esto llevar a pensar que si se favorece el uso de una estrategia que privilegie la elaboración de una representación abstracta del entorno, con base en el establecimiento de coordenadas cartesianas, conducirá a un mejor desempeño en la navegación espacial, independientemente del sexo. En este sentido fue que se diseñó el segundo experimento, aunado a la observación de la actividad eléctrica del cerebro durante tareas de navegación espacial.

Experimento 2

Diferencias sexuales en el desarrollo de habilidades de navegación espacial en entornos virtuales

Introducción

Como se señaló en el experimento 1 y por otros autores (Sakthivel, et al. 1999; Sandstrom, et al. 1998), se han observado diferencias sexuales en la ejecución y estrategias empleadas durante la realización de tareas de navegación espacial en entornos virtuales. Así como se han observado diferencias sexuales en la ejecución de otros tipos de tareas espaciales (Linn y Petersen, 1985; Voyer, et al. 1995).

Se han considerado diversas explicaciones en torno a las diferencias sexuales observadas en las tareas de navegación espacial en entornos virtuales, las cuáles son contradictorias entre sí. Las explicaciones han sido por un lado, la interferencia de estados emocionales en la navegación espacial (Maguire, et al. 1998b; 1999); por otro lado, por la familiaridad en el uso de los dispositivos para desplazarse en los entornos (Hunt y Waller, 1999; Allahyar y Hunt, 2003); y una explicación más sustentada por el uso de diferentes elementos del entorno y estrategias como apoyo para la navegación espacial, las han atribuido a que los hombres utilizan elementos de distancia y puntos cardinales para encontrar su camino, mientras que las mujeres utilizan marcas en el espacio (Sakthivel, et al. 1999; Sandstrom, et al. 1998).

En años recientes, con la difusión en el uso de dispositivos y programas de realidad virtual (Rose y Foreman 2001) se han comenzado a realizar estudios para conocer las diferentes áreas del cerebro involucradas en la navegación espacial, en lo general, y de la habilidad para encontrar el camino, en lo particular (Maguire, 2001; Maguire, et al. 1998b; Maguire, et al. 1999; Maguire, et al. 1996b; Maguire, et al. 1997; Maguire, et al. 2001; Grön, et al. 2000; Caplan, et al. 2001; Caplan, et al. 2003; Kahana, et al. 1999a).

En la revisión bibliográfica no se identificaron estudios de EEG con la participación de sujetos normales, relacionando las estrategias empleadas en la ejecución de tareas para encontrar el camino y las áreas cerebrales activas durante

la tarea. Los estudios realizados en habilidades de navegación espacial tampoco han puesto énfasis en las diferencias sexuales en la ejecución de la tarea, ni en la correlación de la actividad eléctrica entre distintas áreas cerebrales que se activan con base en las estrategias empleadas por los sujetos de uno u otro sexo. Sin embargo, en habilidades como la rotación mental se han encontrado diferencias en las áreas de la corteza cerebral dependientes del tipo de estrategia que los sujetos usen para hacer frente a las tareas (Corsi-Cabrera, et al. 1993; Rescher y Rappelsberger, 1999).

A su vez, se ha observado que las diferencias sexuales durante la navegación espacial en diferentes tareas pueden verse reducidas con base en entrenamientos diversos que fomentan nuevas estrategias para hacerle frente a las tareas, aunque nuevamente las evidencias no son concluyentes al respecto por la diversidad de tareas y entrenamientos empleados en dichos estudios (Lawton y Morrin, 1999; Van Horn, et al. 1998).

En años recientes, se ha iniciado la utilización de dispositivos de realidad virtual inmersiva y no inmersiva para el entrenamiento de habilidades de navegación espacial, en diferentes tipos de población tales como niños normales, niños con discapacidad motriz, militares de infantería y de la marina, entre otros (Foreman, et al. 2000; Foreman, et al. 2003; Darken y Bamker, 1998; Arthur y Hancock, 2001). Este tipo de entrenamientos se han vuelto más frecuentes, ya que han mostrado ser igualmente eficientes que aquellos realizados en entornos reales, pero con menor costo, uso más eficiente del tiempo, no estar sujetos a condiciones climatológicas y permitir el incremento de niveles de complejidad en el entrenamiento con mucha precisión (Rose y Foreman, 2001; Arthur, et al. 1997).

Por otra parte, a través de diversos entrenamientos se han puesto en evidencia que es posible provocar cambios en la organización cerebral de los sujetos que participan en ellos, aunque estos trabajos se han desarrollado en habilidades de razonamiento verbal. Sus hallazgos han sido fundamentalmente, la reducción de la coherencia interhemisférica en la banda theta entre la región frontal y prefrontal, la disminución del tiempo en la coherencia de la región frontal y parietal, aumento de la coherencia en la banda beta 1 en la región parietal, durante la ejecución de la tarea

después de haber recibido un entrenamiento en particular. Los cambios funcionales se han asociado a la reducción del esfuerzo mental implicado en la resolución de la tarea (Sommerfeld, et al. 2001; Simmel, et al. 2001).

Planteamiento del problema

Como se mencionó previamente, los resultados en torno a las diferencias sexuales en la ejecución de tareas de navegación espacial han sido contradictorios, particularmente en aquellos casos que implican la navegación en entornos virtuales, ya que algunos estudios han observado diferencias sexuales y otros no. Las explicaciones en torno a estas diferencias sexuales han sido diversas, algunos autores enfatizan aspectos emocionales, otros metodológicos y otros basados en el uso de diferentes estrategias durante la navegación

Por otro lado, recientemente se han iniciado estudios sobre la activación de áreas cerebrales durante el procesamiento de tareas de navegación espacial en entorno virtuales mediante PET o fMRI. Los estudios mediante EEG son contados y en sujetos anormales. En estos estudios sobre navegación espacial no se han considerado las diferencias sexuales en la ejecución en un entorno con o sin marcas.

Ahora bien, los conocimientos en torno a los cambios que puedan producirse en la ejecución y la actividad cerebral como resultado de un entrenamiento en habilidades de navegación espacial, colocando especial atención en las diferencias sexuales son igualmente escasos.

Por lo anterior, las preguntas que nos planteamos con base en el estado del conocimiento en la materia son las siguientes:

- ¿Cómo se manifiestan las diferencias sexuales en la organización de la actividad eléctrica cerebral al realizar tareas de navegación espacial en entornos virtuales urbanos con y sin marcas?
- ¿Cuáles serían los cambios generados en la ejecución y en la organización de la actividad eléctrica cerebral después de recibir un entrenamiento para el desarrollo de habilidades de navegación espacial en un entorno virtual inmersivo, en hombres y mujeres?

Hipótesis

Se presentarán diferencias sexuales en el EEG previo al entrenamiento, durante la ejecución de tareas de navegación espacial en entornos virtuales desconocidos con y sin marcas, particularmente mayor correlación interhemisférica en los hombres.

En la ejecución de las tareas de navegación espacial, posterior al entrenamiento, se encontrará que tanto hombres como mujeres serán más eficientes, ambos emplearán para hacer frente a la tarea información geométrica y aquella proveniente de las marcas en el entorno.

En el registro EEG posterior al entrenamiento se espera encontrar menor correlación intrahemisférica en la banda theta, en especial entre los lóbulos frontales y la región temporo-parietal, mayor correlación en las bandas alfa entre la región frontal y parietal derecha.

Objetivos

Identificar las diferencias entre hombres y mujeres en la ejecución de tareas de navegación espacial en entornos con y sin marcas, la organización de la actividad eléctrica cerebral asociada a las mismas y los cambios generados en ella por un entrenamiento para el desarrollo de habilidades de navegación espacial.

Objetivos específicos

Identificar las diferencias sexuales en los patrones de funcionamiento eléctrico cerebral durante la realización de dos de tareas de navegación espacial en un entorno virtual urbano e inmersivo.

Identificar los cambios en las estrategias y en la ejecución de las tareas de navegación espacial en un entorno virtual urbano en los sujetos de ambos sexos después de recibir un entrenamiento para el desarrollo de habilidades de navegación espacial.

Identificar las diferencias sexuales en los patrones de funcionamiento eléctrico cerebral durante la realización de dos de tareas de navegación espacial después de

participar un entrenamiento para el desarrollo de habilidades de navegación espacial en un entorno virtual urbano e inmersivo.

VARIABLES INDEPENDIENTES:

Sexo,

Entrenamiento.

VARIABLES DEPENDIENTES:

Ejecución de tareas para llegar al lugar blanco en entornos virtuales con y sin marcas,

Actividad eléctrica cerebral.

VARIABLES CONTROLADAS:

Edad,

Nivel académico,

Agudeza visual,

Antecedentes de alteraciones neurológicas,

Capacidad intelectual,

Lateralidad,

Irregularidades en el ciclo menstrual,

Consumo de drogas o medicamentos que afecten el Sistema Nervioso,

Etapa del ciclo menstrual.

Método

Sujetos

Características:

Participaron estudiantes voluntarios del último año del bachillerato, obteniendo créditos por su participación en el proyecto.

Los criterios de inclusión fueron: diestros, cursar el último año del bachillerato, agudeza visual de 20/20 no corregida, 50 o más puntos brutos en la prueba de Raven, desempeño medio las tareas de navegación espacial de selección (entre 14 y 88 seg. de tiempo perdido para llegar al lugares blanco y entre 3 y 5 blancos logrados).

Criterios de no-inclusión: antecedentes de alteraciones en el ciclo menstrual, antecedentes de alteraciones neurológicas, consumo de drogas o medicamentos que afecten el sistema nervioso.

Criterios de exclusión: deserción del proyecto, consumir algún tipo de droga o medicamento que afecte el sistema nervioso, embarazo, mareo al realizar actividades en realidad virtual inmersiva.

Proceso de selección

Para seleccionar a los sujetos se aplicaron las siguientes pruebas de forma consecutiva, aquellos que cumplieran el parámetro requerido en cada prueba continuaban con el proceso de aplicación de las demás:

Prueba de agudeza visual

Se empleó la misma prueba que en el experimento 1 (Ver p. 53)

Prueba de lateralidad de Annet

Se empleó la misma prueba que en el experimento 1 (Ver p. 53).

Historia Clínica

Se usó la misma historia clínica que en el experimento 1 (Ver p. 53).

Prueba de matrices progresivas, escala general (Raven).

Se usó la misma prueba de raven que en el experimento 1 (Ver p, 54).

Prueba de mareo en realidad virtual inmersiva

Se empleó la misma prueba que en el experimento 1 (Ver p. 55).

Pruebas de navegación espacial para selección (Wayfinding).

Se emplearon las mismas tareas, entornos y equipo de computo usados en el experimento 1 (Ver p. 56)

Los indicadores de ejecución en las tareas fueron: Número de veces llegaron al lugar blanco destino y tiempo perdido al hacerlo. Se incluyeron los sujetos que llegaron al blanco entre 3 y 5 veces y que perdieron entre 14 y 88 seg. para llegar al lugar blanco.

Procedimiento

Para seleccionar los sujetos que participaron en el presente experimento, de un universo de 600 sujetos, se evaluaron 229 sujetos, seleccionándose 28 de ellos para realizar una tarea de navegación espacial ya que cumplieron con los criterios de inclusión. De estos 28 sujetos, 3 hombres y 5 mujeres fueron excluidos por presentar algún criterio de exclusión. Cabe señalar que los sujetos evaluados y seleccionados para el presente experimento fueron otros de los participantes en el experimento 1.

La muestra final comprendió de grupos, uno de 10 hombres y otro de 10 mujeres, estudiantes del último año de bachillerato de la Escuela Preparatoria Número 5 de la Universidad de Guadalajara, sanos (sin antecedentes de enfermedades crónico degenerativas, ni de alternaciones neurológicas, ni de alternaciones en el ciclo menstrual), diestros en el 100% de las tareas de la prueba de Annet, con agudeza visual de 20/20 no corregida, con puntaje bruto en la prueba de Raven de 50 o más puntos, con habilidad para navegar media (entre 14 y 88 seg. de tiempo perdido para llegar al lugar blanco y entre 4 y 5 lugares blanco logrados) (Ver Tabla 8).

Tabla 8:

Media y Desviación Estándar de los criterios de selección, por sexo.

	Edad	Puntaje Bruto Raven	Tiempo perdido en navegación	Lugares Blanco logrados
Hombres	17.3 ±0.67	55 ±3.12	48.93 ±18.49	4.6 ±1.05
Mujeres	17.3 ±0.48	53.7 ±2.75	45.26 ±29.86	4.3 ±1.0

Los 20 sujetos, realizaron una tarea de navegación espacial consistente en llegar a un lugar blanco y regresar al punto de partida en entornos virtuales urbanos desconocidos: a) con marcas, b) sin marcas. Se registró la actividad eléctrica cerebral durante su realización en 2 sesiones (sesión pre-entrenamiento y post-entrenamiento). Las sesiones se realizaron entre las 11:00 y 14:00 hrs. (Ver Fig. 5).

Sesión pre entrenamiento

Presentación de tareas:

Primero se realizó la tarea en el entorno con marcas, ya que el sujeto haría uso de las estrategias que emplearía en un entorno real; después se realizó la tarea en el entorno sin marcas, en el cual debería emplear como forma básica de apoyo a la navegación espacial una representación allocéntrica del entorno.

Tarea de navegación espacial (Wayfinding).

Prueba de navegación espacial en entorno virtual urbano, tridimensional, inmersivo, complejo y desconocido, con el objetivo de llegar a un lugar blanco.

El diseño de los entornos en los cuales los sujetos realizaron la tarea fue: una organización cuadrangular, con avenidas principales, avenidas secundarias y calles, extensión de 36 x 27 cuadras; un mismo plano, sin puntos elevados o deprimidos. La tarea se realizó con una perspectiva a nivel de piso (Ver Anexo F1).

Características de los entornos:

- Con marcas: anuncios publicitarios diversos (bancos, tiendas, bebidas, ropa), edificios diferentes en cuanto al color, forma, tamaño, parques, camellones, diferente tipo de arbolado, esculturas.
- Sin marcas, todos los edificios eran iguales en forma, tamaño, color, altura, sin publicidad.

Actividades a realizar por el sujeto de manera activa cada uno de los entornos:

Actividades realizadas en cada entorno:

1. Caminata libre (5 min.).
2. Reorientación al punto de partida (Max. 5 min.)
3. Llegar a un lugar blanco (1 vez; 5 min. Max.) y regresar a punto de partida (Evalúa las habilidades de: orientación, toma de decisión y monitoreo del camino, reconocimiento del destino).

Indicadores de ejecución de la tarea

Llegar al lugar blanco:

- Eficiencia para llegar al lugar blanco: implica que el sujeto llegara al lugar blanco en un lapso no mayor de 5 minutos, por la ruta que consideró más conveniente.
- Distancia recorrida fuera de la ruta al objetivo: se refiere a las cuadras extra recorridas por el sujeto en relación con la ruta mostrada y/o la ruta más corta y directa para llegar al lugar blanco.
- Número de vueltas equivocadas: se refiere a las vueltas que da el sujeto en dirección opuesta a la ubicación del lugar blanco.
- Giros para observar y buscar el lugar blanco: se refiere a las ocasiones en las cuales el individuo en una intersección hace un alto para observar en varios sentidos de las calles buscando visualmente algún elemento o el lugar blanco.
- Tiempo perdido en la navegación hacia el lugar blanco: se refiere a la diferencia entre el tiempo esperado de navegación y el tiempo realizado por el sujeto.

- Tipo de ruta empleada para llegar al lugar blanco: igual a la mostrada, con menor número de vueltas a la mostrada, en ángulo recto hacia el objetivo, equivocada en por lo menos, dos cuadras de diferencia de la ruta mostrada o en ángulo recto.

Instrucciones en las tareas de navegación espacial.

Actividades 1,2: "A continuación tendrás un tiempo de 5 minutos para conocer la ciudad, el objetivo es que te orientes, de la manera que consideres más adecuada, una vez transcurridos los 5 minutos deberás regresar al punto de partida por la ruta que consideres más adecuada, en el menor tiempo posible".

Actividad 3: "A continuación te mostraremos un destino al cual deberás llegar de manera rápida y por la ruta que consideres más adecuada. Primero te mostraré una ruta para llegar al lugar, para que conozcas donde se encuentra, pon mucha atención en ella, ya que se te mostrará sólo una vez. Segundo, deberás llegar al lugar por la ruta que consideres más adecuada. Una vez que llegues al lugar deberás regresar al punto de partida de forma rápida y por la ruta que consideres más adecuada.

Evaluación de las estrategias empleadas en la navegación espacial.

Se pidió al sujeto que explicara, al terminar cada tarea, el medio por el cual se había orientado en el entorno, cómo decidió la ruta para llegar al blanco y la forma en la cual había visualizado el entorno durante la navegación.

Se realizó una entrevista semiestructurada con el sujeto al final de la prueba para conocer sus estrategias de navegación y errores cometidos en los entornos.

Evaluación subjetiva del desempeño en la navegación espacial.

Se realizó una evaluación subjetiva sobre las emociones, percepción de la prueba y desempeño en la ejecución de las tareas de navegación espacial para cada uno de los entornos. Se aplicaron escalas analógicas de: Atención, ansiedad, seguridad personal, sensación de hastío, percepción de la facilidad de la tarea.

Entrenamiento

Después de concluir los registros pre-entrenamiento se llevó a cabo el entrenamiento para desarrollar las habilidades de navegación espacial, el cual consistió en 9 sesiones de práctica, con una duración de 10 a 15 min cada una.

Al término del entrenamiento de los grupos se realizó la evaluación post-entrenamiento, registrándose nuevamente la actividad eléctrica cerebral durante la realización de la tarea. El registro se realizó una vez concluido el entrenamiento, no siendo mayor la espera de 7 días, en promedio.

Sesión post entrenamiento

Tarea de navegación espacial

La tarea de navegación espacial en la sesión post entrenamiento fue la misma que en la sesión pre-entrenamiento, los entornos fueron los mismos, pero se cambió la ubicación del punto de partida y del lugar blanco al cual debían llegar los sujetos.

Evaluación de las estrategias empleadas en la navegación espacial.

Al concluir la sesión post-entrenamiento se entrevistó al sujeto para conocer la forma en la cual se había orientado en los entornos, la manera en la que había decidido la ruta para llegar al blanco objetivo, por medio de una entrevista semiestructurada. Así como la forma en la cual el entrenamiento había influido en sus habilidades de navegación en los entornos virtuales y en la realidad.

Evaluación subjetiva del desempeño en la navegación espacial.

También se aplicó la evaluación subjetiva del desempeño durante la navegación espacial mediante escalas analógicas, iguales a las empleadas en la sesión pre entrenamiento.

Registro de EEG.

Se registraron las respuestas electroencefalográficas, en condición de reposo con ojos abiertos; en condición control (desplazamiento en un entorno virtual sin marcas, con una dimensión de 3 cuadras, usando los lentes de realidad virtual) 5

min. y durante la realización de la tarea de navegación espacial (llegar al lugar blanco), en entornos con y sin marcas. Se registraron las derivaciones F3, F4, F7, F8, C3, C4, T3, T4, T5, T6, P3, P4, O1 Y O2 con las orejas cortocircuitadas como referencia de acuerdo con el sistema internacional 10-20 de colocación de electrodos, por medio de un polígrafo Grass Neurodata Modelo 15. Se registraron los movimientos oculares para control de artefactos. La impedancia en los electrodos fue menor de 10 Kohms. Las muestras fueron de 256 puntos a una frecuencia de muestreo de 256 hz.

Análisis de EEG:

Los segmentos de EEG fueron filtrados fuera de línea con filtros de 0.1 a 45 hz. y posteriormente revisados a fin de eliminar segmentos contaminados con artefactos, para después, por medio de un análisis de transformada rápida de Fourier, obtener la potencia absoluta (PA), potencia relativa (PR) correlación interhemisférica (rter) y correlación intrahemisférica (rtra) para las siguientes bandas:

- | | | | |
|----------|-----------|---------|-------------|
| • Delta | 1 - 3 Hz | • Alfa2 | 10 – 12 hz. |
| • Theta1 | 4 - 5 hz. | • Beta1 | 13 – 17 hz. |
| • Theta2 | 6 - 7 hz. | • Beta2 | 18 - 25 hz. |
| • Alfa1 | 8 – 9 hz. | • Gamma | 35 – 45 hz. |

- Potencia absoluta: Indica la cantidad de energía de las señales eléctricas que existe en una zona del cerebro en un momento específico.
- Potencia relativa: se refiere a la proporción de la potencia absoluta con que contribuyen las diferentes bandas a la potencia total del espectro.
- Correlación interhemisférica entre zonas homólogas de los hemisferios para cada banda que indica el grado de semejanza de fase entre los dos hemisferios.
- Correlación intrahemisférica entre todas las derivaciones dentro de cada hemisferio para cada banda e indica el grado de especialización por hemisferio al realizar la tarea.

Entrenamiento

Se realizó en un sistema de realidad virtual inmersiva en ambiente urbano desconocido, usando el teclado para el desplazamiento, la imagen se presentó mediante lentes de realidad virtual (head mounted display) con resolución de 1,44 millones de píxeles, a 60 Hz; con amplitud en visión de campo de 31°. Se utilizó una computadora PC Pentium IV, con 256 Mb en RAM, tarjeta de video Nvidia y Disco duro de 7000 revoluciones por segundo.

Los requerimientos en "hardware" buscaban evitar que los sujetos percibieran pausas en el despliegue de las imágenes durante su desplazamiento por la velocidad de transmisión de las imágenes, haciendo la tarea lo más parecida en cuanto al entorno real.

El entrenamiento se dio por concluido cuando los sujetos asistieron a nueve sesiones.

Las sesiones fueron individuales, con una frecuencia de 2 o 3 sesiones por semana, el tiempo de cada sesión fue de 10 a 15 min. Se contó con el apoyo de un entrenador para el desarrollo de estrategias de desplazamiento, marcar errores en las tareas y proveer retroalimentación inmediata en caso de errores.

La organización de las sesiones fue con base a un nivel creciente de dificultad como a continuación se describe:

Sesión 1

Descripción verbal de la estrategia de ubicación de punto de origen, en papel, a través del plano cartesiano (sistema de coordenadas), enfatizando la necesidad de ubicar dos ejes al menos, siendo el ideal 4 ejes, formando un cuadrante. Los ejes son las avenidas o el borde de la ciudad.

Se extrapola el ejemplo del plano cartesiano al centro de la ciudad de Guadalajara, entre las avenidas principales de la zona centro.

Se pasa al entrenamiento en computadora empleando los lentes de realidad virtual.

Se trabaja en una ciudad de 6 por 6 cuadras, en ella el sujeto cuenta las cuadras hacia las paredes ubicando su posición como en un plano de coordenadas. Su primera actividad es ver en las cuatro direcciones posibles y determinar cual es el eje (borde o

avenida) más cercano al punto de origen para iniciar el conteo de la distancia en cuadras. Debe de fijar la posición del punto de partida en los 4 ejes posibles.

Se le presenta la vista aérea de la ciudad, en la cual debe decidir si es o no la ciudad, y dar una explicación al respecto. Se le pide que de un significado a la cuadra en blanco que se presenta en la vista aérea representando el punto de partida del desplazamiento.

Se pasa a la representación en papel del punto de ubicación, a través de un esquema sencillo (busca favorecer la representación del entorno de una manera abstracta con visualización superior en vez de la vista a nivel de piso).

Sesión 2

Trabajo en computadora, en entorno de 9 x 9 cuadras, sin marcas, dos avenidas. Se pide al sujeto que ubique la posición inicial en la ciudad con base en la estrategia conocida previamente. Se supervisa la aplicación correcta de la estrategia con los pasos adecuados, en caso de no aplicarlos correctamente se le da la instrucción al sujeto.

Una vez que el sujeto ha ubicado la posición exacta del punto de inicio y ha conocido la ciudad por coordenadas, se le presenta una imagen de la misma vista en tercera persona, la imagen aparece rotada 180 grados. El sujeto debe decidir si es la presentación es correcta o no, argumentar porque y corregirla en caso necesario rotando la ciudad hasta tener la posición que el sujeto considera igual a la forma en la cual inicio.

Con la vista en tercera persona, se pide al sujeto se desplace hacia un punto en la ciudad, ubicando con base en la estrategia de coordenadas.

El sujeto se desplaza por la ciudad con vista en primera persona hasta llegar al punto referido. Se le pide al sujeto que regrese al punto de partida por una ruta diferente a la recién empleada.

Sesión 3

El sujeto realizaba las mismas actividades que en la sesión 2 pero en un entorno de 15 x 15 cuadras.

Sesión 4

Trabajo en computadora, ciudad de 9 x 9 cuadradas, sin marcas, con bloqueos en las calles.

Se le presenta una imagen de la ciudad vista en tercera persona, en la cual se indican las calles cerradas. Se le ayuda al sujeto a reconocer la ciudad y su presentación de forma abstracta.

Con la vista en tercera persona, se pide al sujeto que ubique el lugar blanco en la ciudad. Debe visualizar la ruta con base en las calles bloqueadas.

El sujeto se desplaza por la ciudad con vista en primera persona hasta llegar al punto referido y regrese al punto de partida por una ruta diferente a la recién empleada. Esta tarea se hace en dos sitios diferentes de la ciudad de la misma forma.

Sesión 5

El sujeto realizaba las mismas actividades que en la sesión 4, pero en un entorno de 15 x 15 cuadradas. En la presentación de la ciudad en la vista aérea no se muestran las calles bloqueadas.

Sesión 6

Trabajo en computadora, ciudad de 15 x 15 cuadradas, sin marcas, con tres avenidas. Se pide al sujeto que ubique la posición inicial en la ciudad. Se valora la rapidez con la que lo realiza.

Una vez que el sujeto se ha ubicado en la ciudad, se le muestra una imagen de la ciudad, vista en tercera persona, rotada 90 grados. El sujeto debe decidir si la presentación es correcta o no, argumentar porqué y corregirla en caso necesario rotando la ciudad hasta tener la posición que el sujeto considera igual a la forma en la cual inició.

Con vista en primera persona se le muestra al sujeto una ruta para llegar a un lugar blanco, tanto de ida como de regreso. El sujeto se desplaza por la ciudad con vista en primera persona hasta llegar al lugar blanco y regresar al punto de partida por una ruta diferente a la recién empleada. Se valora el tipo de ruta empleado para llegar al blanco y para el regreso, la cual deberá ser con menos vueltas de la mostrada. En caso de errores se reflexiona el posible motivo de los mismos y se plantea una solución.

Sesiones 7 y 8

Trabajo en computadora, ciudad de 15 x 15 cuadras, con marcas, con dos avenidas.

Se pide al sujeto que ubique la posición inicial en la ciudad. Se supervisa la aplicación correcta de la estrategia. Se valora la rapidez con la que lo realiza.

Con vista en primera persona se le muestra al sujeto una ruta para llegar a un lugar blanco, tanto de ida como de regreso. El sujeto se desplaza por la ciudad con vista en primera persona hasta llegar al punto referido. Se le pide al sujeto regrese al punto de partida por una ruta diferente a la recién empleada. Se valora el tipo de ruta empleada para llegar al blanco y para el regreso. En caso de errores se reflexiona el posible motivo de los mismos y se plantea una solución para los mismos.

Al final se le pregunta sobre la forma en la cual se orientó en la ciudad y la atención prestada a las marcas existentes en la misma.

Sesión 9

Inicia en misma ciudad que en la sesión anterior, con las mismas actividades anteriores, además de éstas se coloca al sujeto en una posición distante del punto de partida. Debe de ubicar su posición con base en la representación del entorno y regresar al punto de partida. Se valora la forma en la que se realiza la ubicación y orientación para el regreso.

Las tareas implicadas en el entrenamiento fueron probadas previamente en 8 sujetos con diferente grado de habilidad en navegación espacial, desde sujetos muy hábiles hasta sujetos con poca habilidad, de acuerdo a su propio criterio y corroborados con su ejecución en las tareas de navegación espacial empleadas para la selección de sujetos.

Análisis de datos

Las medidas conductuales de ejecución de la tarea de navegación espacial se analizaron por medio de la Prueba de Friedman:

- tiempo perdido fuera de ruta,
- distancia viajada fuera de ruta,
- número de vueltas equivocadas al desplazarse,
- número de veces que voltea buscando el lugar blanco.

A través de la prueba ji cuadrada se analizaron las medidas conductuales de ejecución de las tareas de navegación espacial de:

- llegar al lugar blanco,
- tipo de ruta seleccionada.

Con las estrategias de desplazamiento se realizó un análisis cualitativo.

Con el objetivo de analizar el registro EEG se realizó un análisis preliminar de la diferencia de las sesiones pre y post entrenamiento, a través de un análisis de varianza de Parcelas divididas de tres factores con los valores normalizados de la PA, la PR, rTer y rTra (sexo x condición {pre/post entrenamiento} x derivación), para cada entorno {con y sin marcas} por separado, para las bandas: delta, theta1, theta2, alfa1, alfa2, beta1, beta2 y gamma.

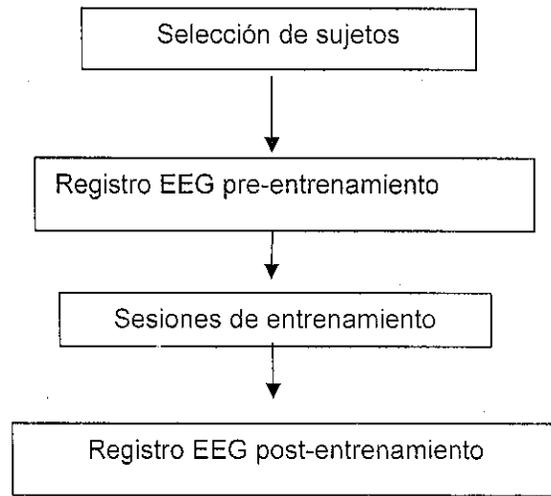


Fig. 5. Diseño Experimental

Resultados

Diferencias sexuales en la sesión pre entrenamiento.

Ejecución conductual en la tarea de navegación espacial.

Los hombres llegaron con mayor frecuencia al lugar blanco en el entorno con marcas ($p < .007$). Aunque esta fue la única diferencia significativa, se observaron las siguientes tendencias (Ver Fig. 6).

En el entorno con marcas: Los hombres en comparación con las mujeres navegaron menor distancia fuera de ruta para llegar al lugar. Las mujeres voltean en los cruces de calles buscando el lugar blanco con más frecuencia que los hombres.

En el entorno sin marcas: Las mujeres en comparación a los hombres llegaron con más frecuencia al lugar blanco, dieron más vueltas equivocadas para llegar al lugar blanco y voltearon más en los cruces de calles buscando el lugar blanco.

La ruta empleada con más frecuencia para ambos sexos fue la equivocada en el entorno con marcas. Siendo más frecuente en las mujeres que en los hombres.

En el entorno sin marcas la ruta más frecuente para los hombres fue la directa, en cambio para las mujeres fue la ruta con menor número de vueltas (Ver Fig. 7).

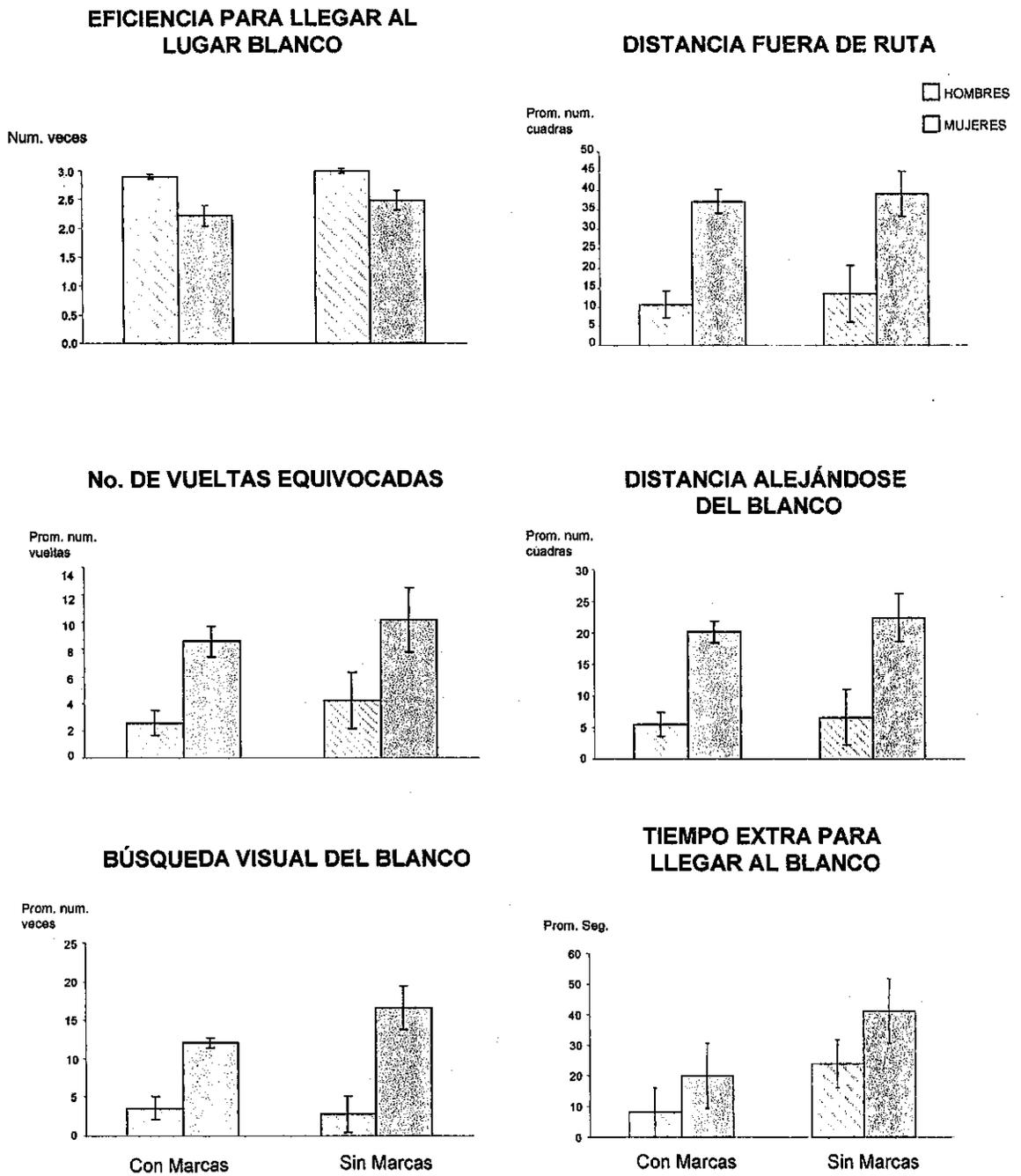


Figura 6. Media y error estándar por indicador conductual en la sesión inicial, en ambos entornos.

En cuanto al tipo de estrategia empleada para navegar en ambos entornos con todos los sujetos emplearon la ubicación de marcas en el entorno y el conteo de cuadras, apoyados en una visualización a nivel de piso para planear sus desplazamientos. Sólo dos hombres y una mujer emplearon coordenadas o ejes, o una visualización superior del entorno para navegar en alguno de los entornos, pero sin ser la estrategia predominante en ellos.

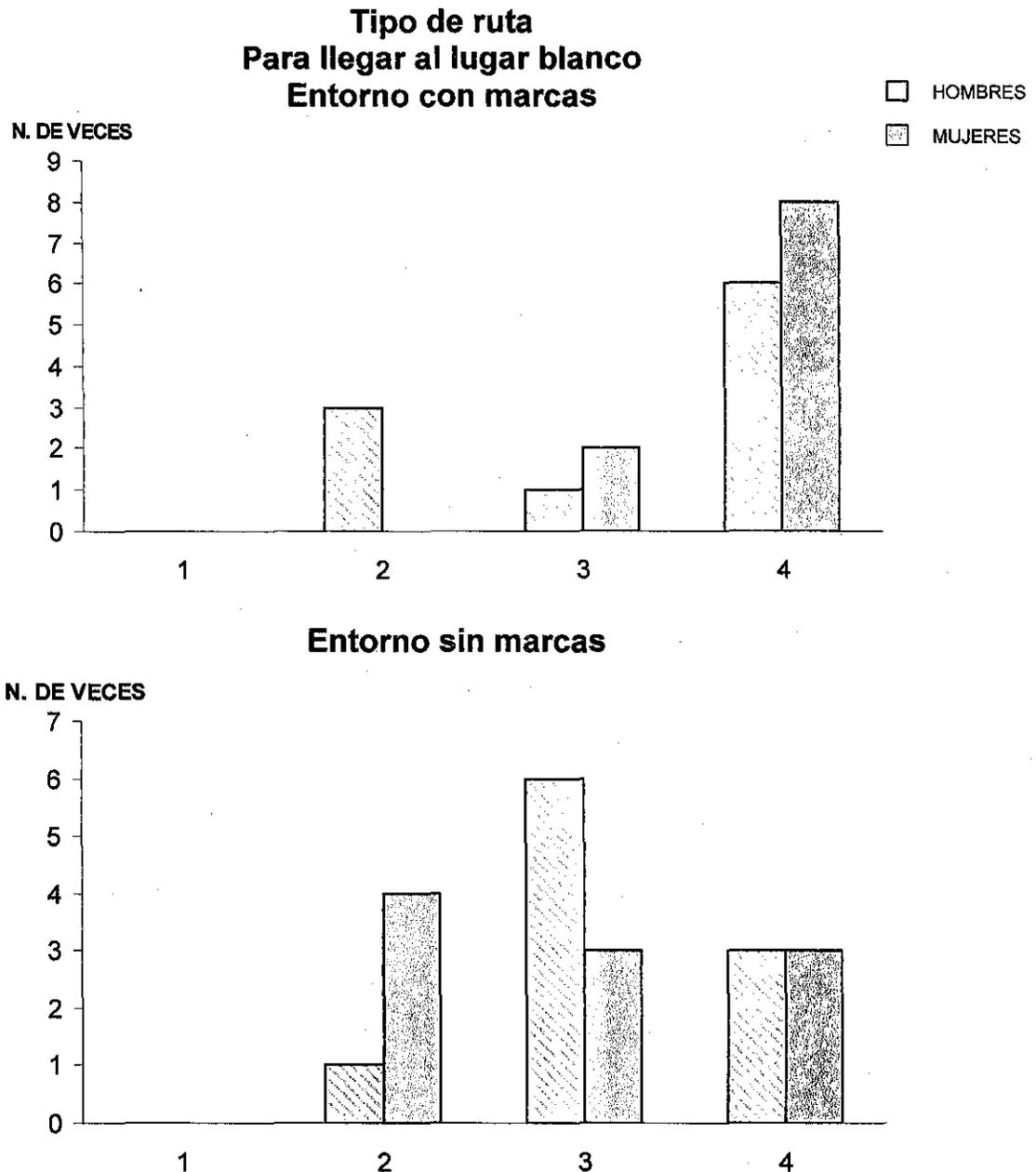


Figura 7. Frecuencia en el tipo de ruta empleado para llegar al blanco, en la sesión inicial. 1: ruta igual a la guía, 2: ruta con menos vueltas, 3: ruta directa 4: ruta equivocada.

Resultados del EEG.

Potencia absoluta

Diferencias sexuales

Se observaron diferencias significativas en la potencia absoluta (PA) entre hombres y mujeres. Se observó mayor PA en las mujeres, en todas las condiciones: línea base (LB), condición control (CC) y desplazamiento hacia el lugar blanco (T1) en el entorno con marcas y sin marcas en todas las bandas (Ver tabla 9).

Tabla 9:
Diferencias sexuales significativas en la potencia absoluta por bandas, en ambos entornos, durante la sesión inicial

Banda	Entorno con marcas		Entorno sin marcas	
	F _(1,1008)	p (F)	F _(1,1008)	p (F)
Delta	216.39	0.0001	162.05	0.0001
Theta1	169.41	0.0001	166.76	0.0001
Theta2	219.05	0.0001	227.38	0.0001
Alfa1	227.07	0.0001	250.93	0.0001
Alfa2	244.06	0.0001	241.91	0.0001
Beta1	212.61	0.0001	230.19	0.0001
Beta2	132.76	0.0001	175.33	0.0001
Gamma	31.95	0.0001	54.44	0.0001

Diferencias por condición.

Entorno con marcas.

Se observaron diferencias en la PA entre condiciones en el entorno con marcas. La PA se incrementó en la CC y en la T1 en comparación con la LB, en las bandas: delta ($F_{(3,1008)}=2.82$, $p < 0.03$), theta1 ($F_{(3,1008)}=3.63$, $p < 0.01$), beta2 ($F_{(3,1008)}=10.24$, $p < 0.0001$) y gamma ($F_{(3,1008)}=14.74$, $p < 0.0001$), siendo T1 la condición que presentó mayor PA. En delta ($p < 0.05$); en theta1 ($p < 0.01$), beta2 ($p < 0.01$) y gamma ($p < 0.01$) fue significativa la diferencia entre LB y T1, además para beta2 y gamma la diferencia fue significativa también entre CC y T1 ($p < 0.01$) (Ver Fig. 8).

En cambio se observó una disminución de la PA en la CC y T1 con relación a la LB en las bandas alfa1 ($F_{(3,1008)}=11.34$, $p < 0.0001$) ($p < 0.01$) y alfa2 ($F_{(3,1008)}=7.21$, $p < 0.0002$) ($p < 0.01$) (Ver Fig. 8).

Potencia Absoluta Con Marcas

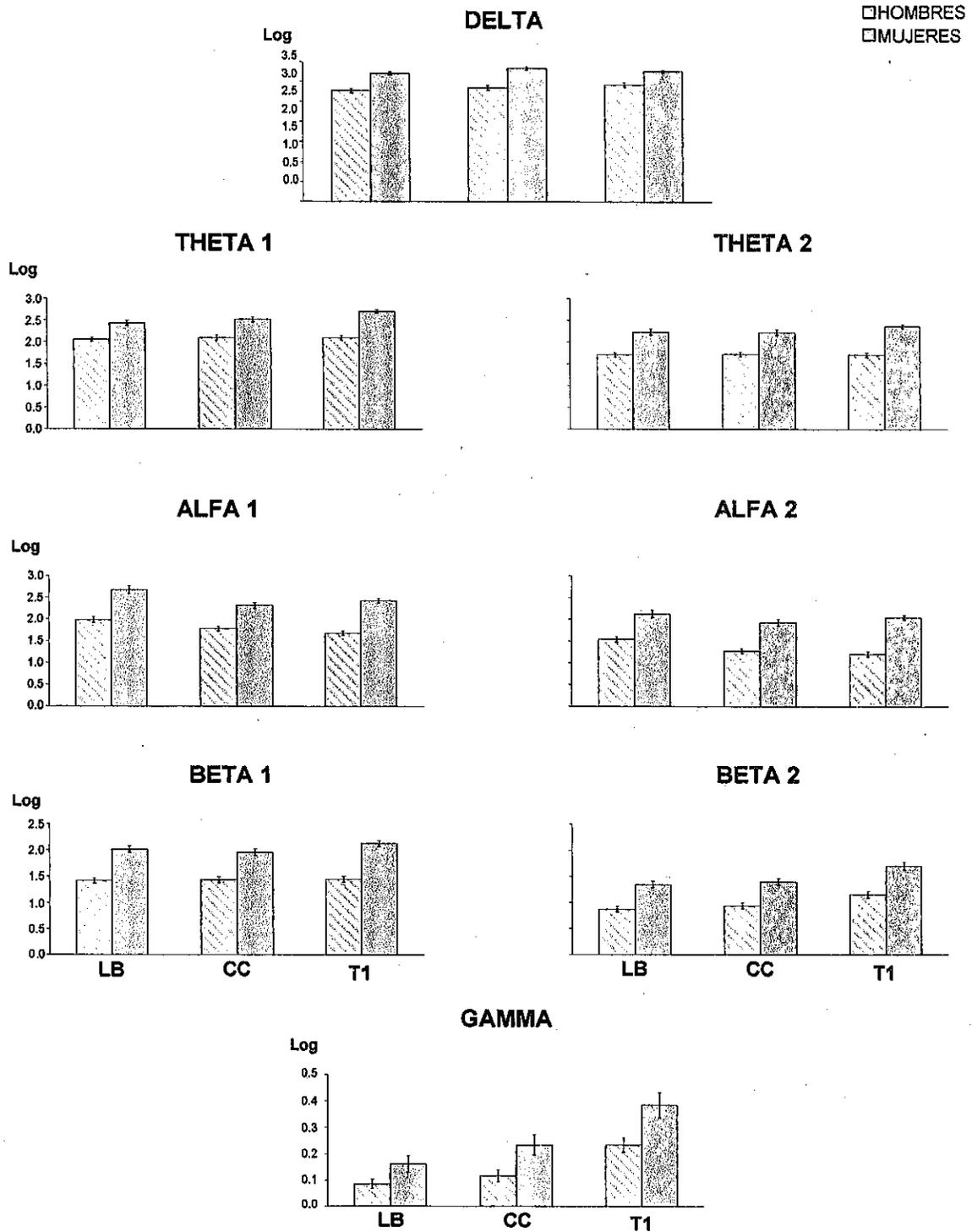


Figura 8. Media y Error Estándar de la Potencia Absoluta, en la sesión inicial, en el entorno con marcas. LB: Línea Base; CC: Condición control; T1: Tarea.

Entorno sin marcas

En el entorno sin marcas se presentó un incremento de la PA para la CC y T1 en comparación con la LB en la banda delta ($F_{(3,1008)}=2.65$, $p<0.04$), beta2 ($F_{(3,1008)}=4.92$, $p<0.002$) y gamma ($F_{(3,1008)}=5.08$, $p < 0.002$), siendo mayor este incremento para la T1 en beta2 y gamma ($p < 0.01$) (Ver Fig. 9).

En cambio, al igual que en el entorno con marcas, se presentó una disminución en la PA en las condiciones de CC y T1 en comparación a LB en las bandas de alfa1 ($F_{(3,1008)}=10.52$, $p<0.0001$) ($p < 0.01$) y alfa2 ($F_{(3,1008)}=7.17$, $p < 0.0002$) ($p < 0.01$) (Ver Fig. 9).

Potencia Absoluta Sin Marcas

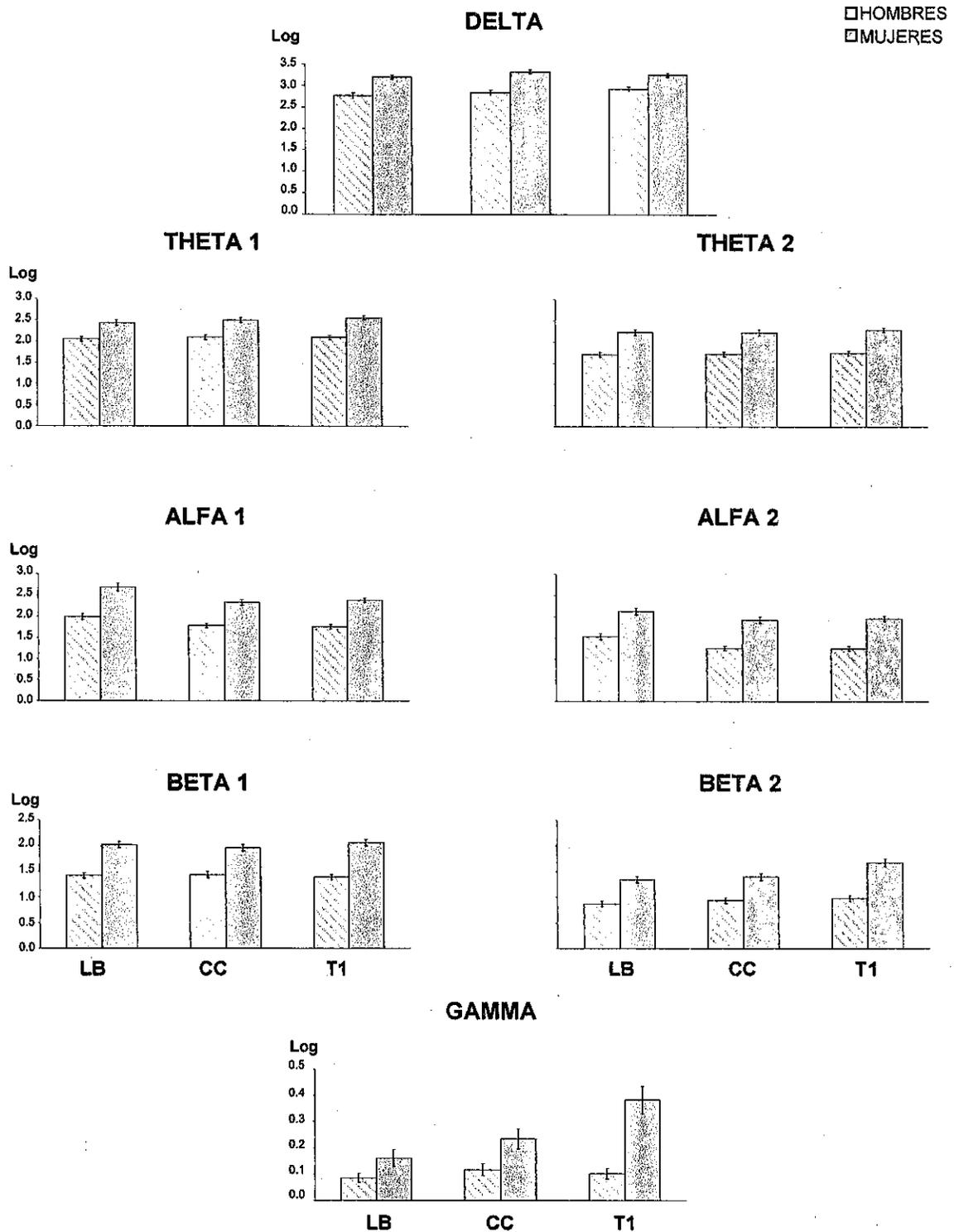


Figura 9. Media y Error Estándar de la Potencia Absoluta, en la sesión inicial, en el entorno sin marcas. LB: Línea Base; CC: Condición control; T1: Tarea.

Interacción sexo por condición

No hubo interacciones sexos por condiciones en la PA para ninguna banda en el entorno con marcas.

En cambio en las condiciones realizadas en el entorno sin marcas se observó interacción en la PA entre el sexo y las condiciones en la banda de gamma ($F_{(3,1008)}=4.15$, $p < 0.006$) siendo mayor la PA en las mujeres y en particular en T1 ($p < 0.01$), en cambio no se observaron interacciones en los hombres (Ver Fig. 9).

Interacción sexo por derivación

En cuanto a la interacción de sexo por derivación sólo fue significativa para la banda gamma ($F_{(13,1008)}=3.81$, $p < 0.0001$) en el entorno con marcas. Las mujeres presentaron mayor PA en las derivaciones T3, T4 y O1 ($p < 0.01$) (Ver Fig. 10).

No hubo interacción significativa por sexo por derivación en PA en el entorno sin marcas. Tampoco se observaron interacciones sexos por condiciones por derivaciones en ninguno de los dos entornos.

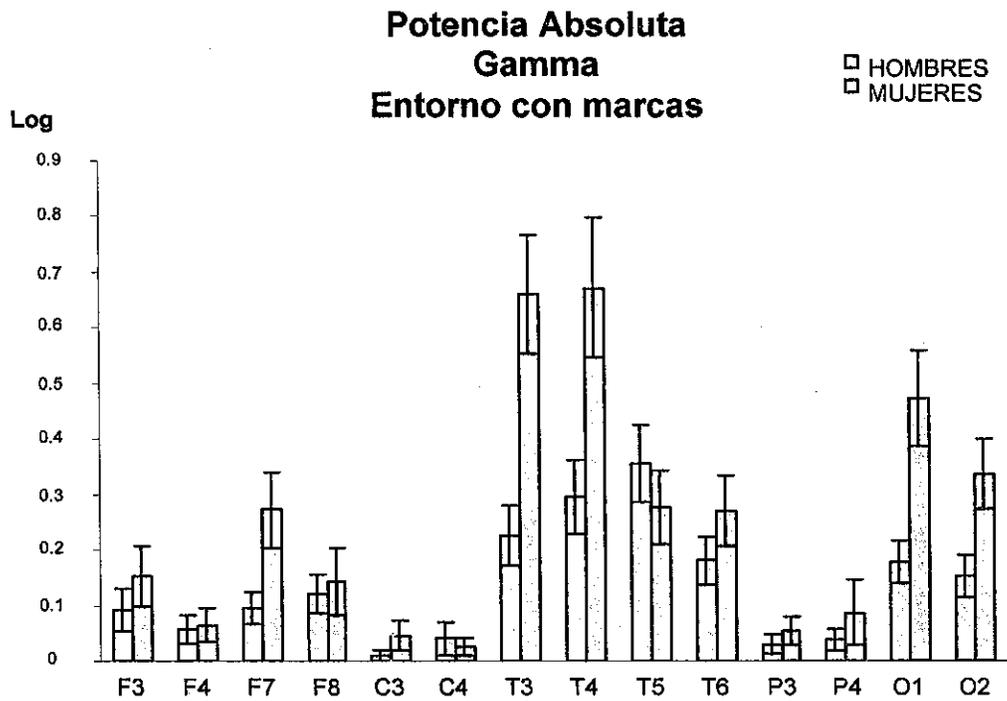


Fig. 10: Media y error estándar de la potencia absoluta de gamma en el entorno con marcas. Interacción sexo por derivación.

Potencia Relativa

Diferencias sexuales

Los hombres presentaron mayor Potencia Relativa (PR) en las bandas delta, theta1 en el entorno con marcas. En cambio las mujeres presentaron mayor PR en las bandas de alfa1, alfa2 y beta1 (Ver Tabla 10).

A su vez, en el entorno sin marcas, los hombres continuaron mostrando mayor PR en las bandas delta y theta1. Por su parte, las mujeres mostraron mayor PR en las bandas theta2, alfa1, alfa 2, beta1 y beta2 (Ver Tabla 10).

Tabla 10:
Diferencias sexuales significativas en la potencia relativa, por bandas, en ambos entornos.

Banda	Entorno con marcas		Entorno sin marcas	
	F _(1,1008)	p (F)	F _(1,1008)	p (F)
Delta	12.72	0.0007	60.57	0.0001
Theta1	63.78	0.0001	46.92	0.0001
Theta2			5.96	0.01
Alfa1	22.61	0.0001	34.89	0.0001
Alfa2	33.42	0.0001	38.33	0.0001
Beta1	3.77	0.04	14.23	0.0004
Beta2			9.66	0.002

Diferencias por condiciones

Entorno con marcas

En cuanto a las diferencias por condición se observó en el entorno con marcas mayor PR en la CC y T1 en comparación con LB en las bandas de delta ($F_{(3,1008)}=12.27$, $p < 0.0007$), theta1 ($F_{(3,1008)}=23.66$, $p < 0.0001$) y beta2 ($F_{(3,1008)}=11.14$, $p < 0.0001$), siendo mayor la diferencia entre LB y T1 ($p < 0.01$), también se observó diferencia entre CC y T1 en las bandas theta1 y beta2 ($p < 0.01$) (Ver Fig. 11).

En cambio, la PR de alfa1 ($F_{(3,1008)}=68.40$, $p < 0.0001$) y alfa2 ($F_{(3,1008)}=34.69$, $p < 0.0001$), fue mayor en LB en comparación con CC y T1, siendo mayor la diferencia entre LB y T1 en ambas bandas ($p < 0.01$) (Ver Fig. 11).

Entorno sin marcas

Para el entorno sin marcas, fue mayor la PR de las bandas de delta ($F_{(3,1008)}=10.37$, $p < 0.0001$), theta1 ($F_{(3,1008)}=12.73$, $p < 0.0001$), theta2 ($F_{(3,1008)}=2.47$, $p < 0.05$) y beta2 ($F_{(3,1008)}=6.40$, $p < 0.0005$) en T1 en comparación con LB; así como entre T1 y CC en beta2 ($p < 0.05$) (Ver Fig. 12).

Al igual que en el entorno con marcas, fue mayor la PR de alfa1 ($F_{(3,1008)}=49.37$, $p < 0.0001$) y alfa2 ($F_{(3,1008)}=28.81$, $p < 0.0001$) en LB en comparación con CC y T1 (Ver Fig. 12).

Interacción sexo por condiciones.

Las hombres mostraron mayor PR de theta1 ($F_{(3,1008)}=2.84$, $p < 0.03$) en LB y CC, en el entorno con marcas (Ver Fig. 11 y 12).

Las mujeres mostraron mayor PR de alfa1 en la LB que los hombres ($F_{(3,1008)}=5.28$, $p < 0.001$) y de alfa2 ($F_{(3,1008)}=2.85$, $p < 0.03$), en T1 que los hombres ($p < 0.01$) en el entorno con marcas.

Para el entorno sin marcas se observaron interacciones sexo por condición en casi todas las bandas excepto theta2.

La PR de delta ($F_{(3,1008)}=9.84$, $p < 0.0001$) fue mayor en los hombres durante T1, que las mujeres ($p < 0.01$).

Los hombres mostraron mayor PR de theta1 ($F_{(3,1008)}=3.72$, $p < 0.01$) en LB y CC que las mujeres ($p < 0.01$).

Por el contrario, las mujeres presentaron mayor PR de alfa1 ($F_{(3,1008)}=4.19$, $p < 0.006$) en LB ($p < 0.01$) y de alfa2 ($F_{(3,1008)}=4.21$, $p < 0.006$) en CC y T1 ($p < 0.05$) que los hombres.

Particularmente, en las mujeres se incrementó la PR de beta1 ($F_{(3,1008)}=2.81$, $p < 0.03$) y beta2 ($F_{(3,1008)}=3.40$, $p < 0.01$) durante T1 en comparación con LB y CC, solo en el entorno sin marcas.

No se presentó ninguna interacción de sexo por derivación, ni sexo por condición por derivación en ninguna de las bandas, en ninguno de los dos entornos.

Potencia Relativa Con Marcas

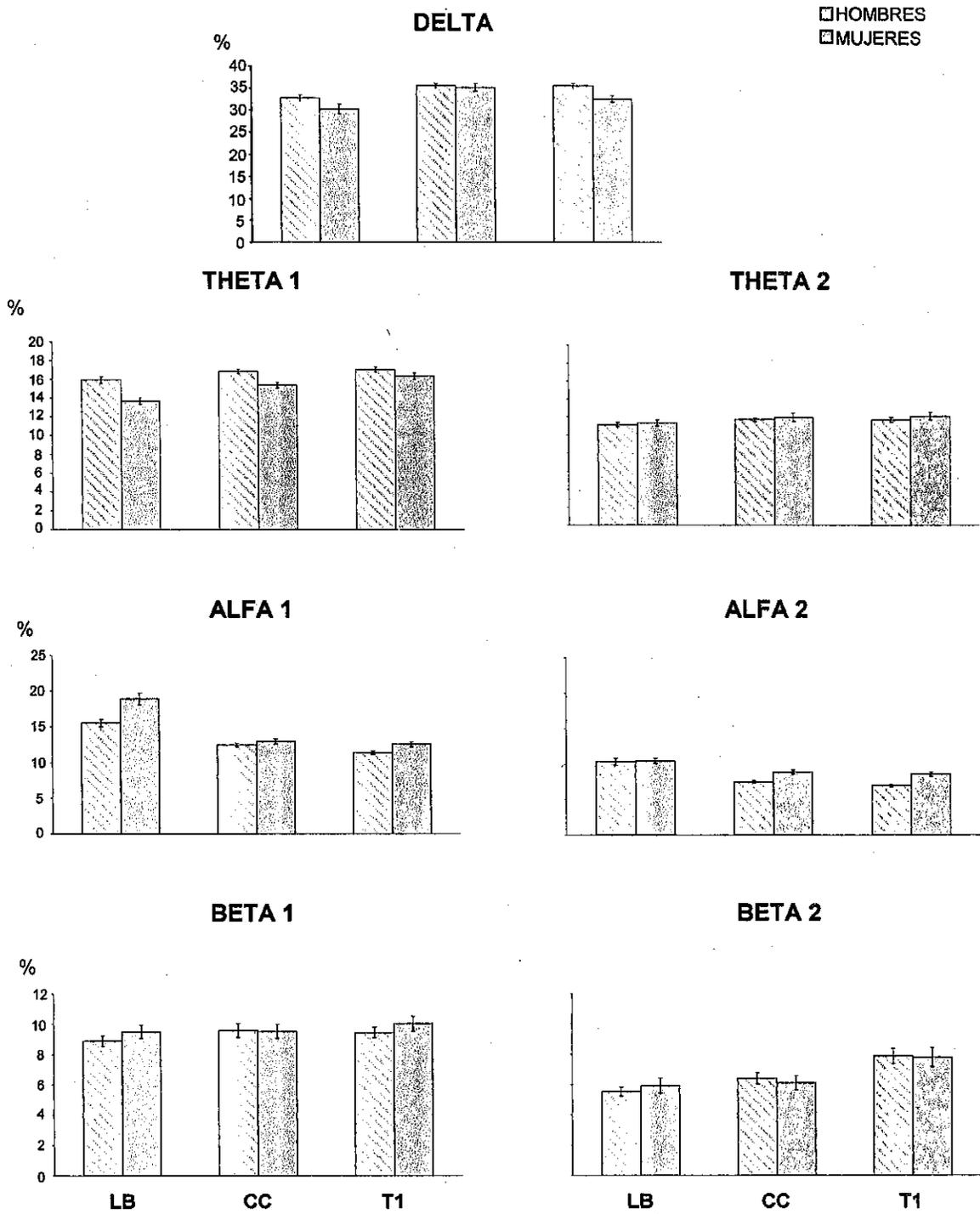


Figura 11. Media y Error Estándar de la Potencia Relativa, en la sesión inicial, en el entorno con marcas. LB: Línea Base; CC: Condición control; T1: Tarea.

Potencia Relativa Sin Marcas

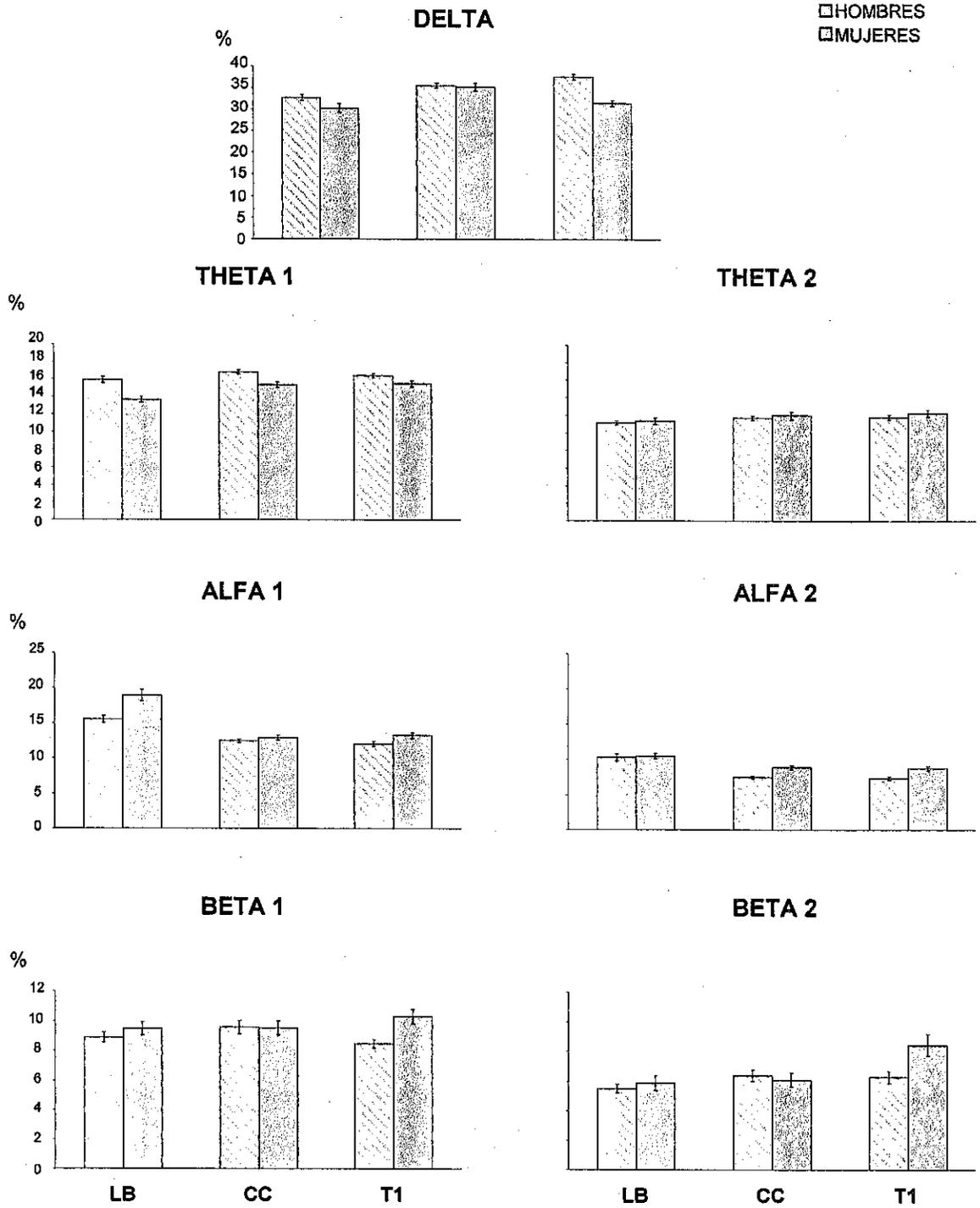


Figura 12. Media y Error Estándar de la Potencia Relativa, en la sesión inicial, en el entorno sin marcas. LB: Línea Base; CC: Condición control; T1: Tarea.

Correlación Interhemisférica.

Diferencias sexuales

Los hombres mostraron mayor correlación interhemisférica (rTER) para la mayoría de las bandas en el entorno con marcas, excepto delta y theta2 (Ver Tabla 11). Esta diferencia es más significativa en las bandas rápidas de alfa2, beta1, beta2 y gamma.

Igualmente, los hombres mostraron mayor rTER para la mayoría de las bandas en el entorno sin marcas, excepto theta2 (Ver Tabla 11). Las diferencias fueron mayores en las bandas rápidas de alfa2, beta1, beta2 y gamma (Ver Gráfico 11).

Tabla 11.
Diferencias sexuales significativas en la correlación interhemisférica en ambos entornos.

Banda	Entorno con marcas		Entorno sin marcas	
	F_(1,504)	p (F)	F_(1,504)	p (F)
Delta			4.08	0.04
Theta1	9.93	0.002	8.3	0.004
Theta2				
Alfa1	13.89	0.0005	13.04	0.0006
Alfa2	29.45	0.0001	28.52	0.0001
Beta1	56.59	0.0001	46.85	0.0001
Beta2	63.21	0.0001	56.54	0.0001
Gamma	50.15	0.0001	29.79	0.0001

Diferencias entre condiciones

Se presentaron diferencias entre condiciones en la rTER en las bandas rápidas de alfa2 ($F_{(3,1008)}=2.65$, $p < 0.04$), beta2 ($F_{(3,1008)}=2.62$, $p < 0.04$) y gamma ($F_{(3,1008)}=6.66$, $p < 0.0004$) en el entorno con marcas. La rTER fue mayor durante la T1 que en LB en todas ellas (Ver Fig. 13).

Para el entorno sin marcas no hubo diferencias en la rTER entre condiciones (Ver Fig. 14).

Correlación Interhemisférica Con Marcas

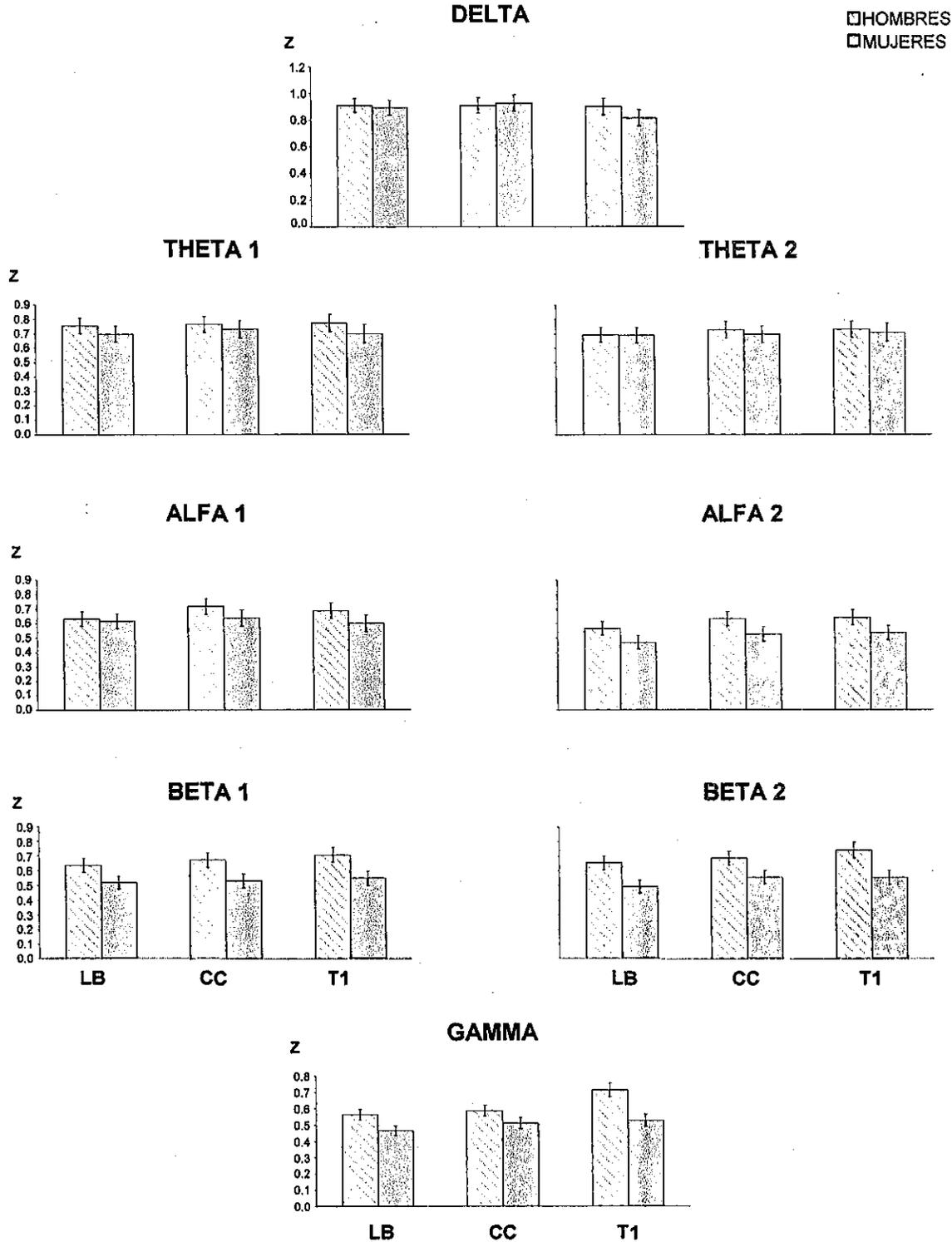


Figura 13. Media y Error Estándar de la Correlación Interhemisférica, en la sesión inicial, en el entorno con marcas. LB: Línea Base; CC: Condición control; T1: Tarea.

Correlación Interhemisférica Sin Marcas

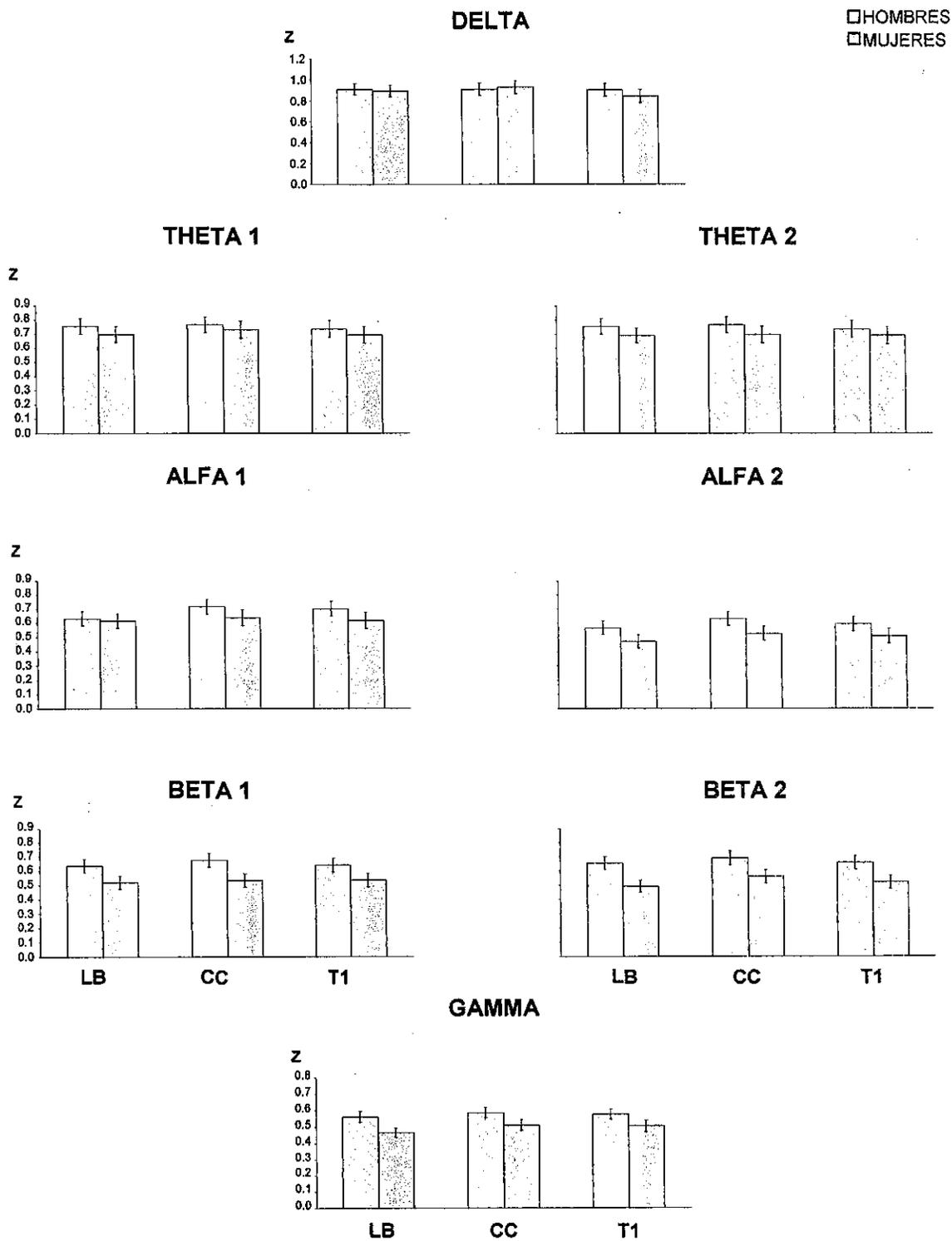


Figura 14. Media y Error Estándar de la Correlación Interhemisférica, en la sesión inicial, en el entorno sin marcas. LB: Línea Base; CC: Condición control; T1: Tarea.

Interacción sexos entre derivaciones.

Sólo se observó una interacción significativa sexo por derivaciones en la rTER en la banda gamma ($F_{(6,504)}=2.45$, $p < 0.02$), en el entorno sin marcas, siendo menor la rTER en las mujeres, especialmente entre F7 y F8 ($p < 0.01$) (Ver Fig. 15).

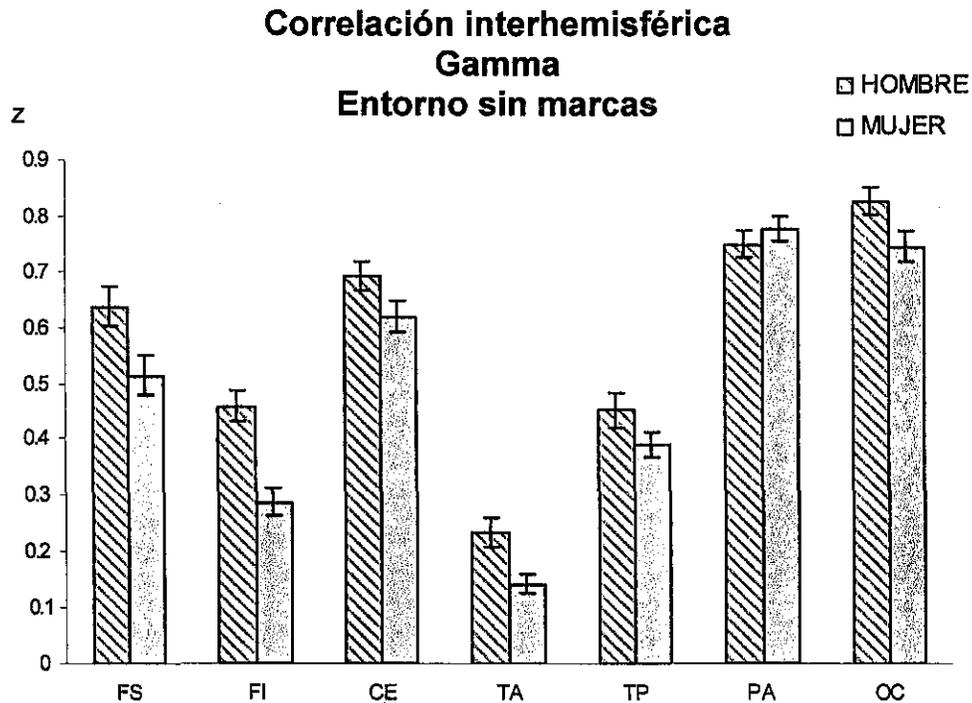


Gráfico 15. Media y error de la correlación interhemisférica entorno sin marcas. Sexo por derivación. Frontal Superior (FS), Frontal Inferior (FI), Central (CE), Temporal Anterior (TA), Temporal Posterior (TP), Parietal (PA), Occipital (OC).

No se observaron interacciones significativas sexos por condiciones, ni sexo por condición por derivaciones en la rTER en ninguna banda en ninguno de los entornos.

Correlación Intrahemisférica

Diferencias sexuales

En términos generales se observó mayor correlación intrahemisférica (rTRA) en los hombres que las mujeres para todas las bandas en el entorno con marcas y especialmente en las bandas alfa2, beta1, beta2 y gamma. Las mujeres sólo mostraron mayor rTRA entre las derivaciones frontales en las bandas delta, theta1 y theta2 (Ver Fig. 16).

Los hombres mostraron mayor rTRA para todas las bandas en el entorno sin marcas y especialmente en las bandas rápidas alfa2, beta1, beta2 y gamma. Las mujeres mostraron mayor rTRA sólo en la banda de delta entre las derivaciones frontales y entre los frontales inferiores y temporales anteriores (Ver Tabla 12) (Ver Fig. 17).

Tabla 12.
Diferencias sexuales significativas en la correlación intrahemisférica en ambos entornos. Frontal Superior (FS), Frontal Inferior (FI), Central (CE), Temporal Anterior (TA), Temporal Posterior (TP), Parietal (PA), Occipital (OC).

Derivación	Banda	Entorno con marcas		Entorno sin marcas	
		F _(1,144)	p (F)	F _(1,144)	p (F)
FS-FI	Delta	10.97	0.001	6.39	0.01
	Theta1	7.29	0.007		
	Theta2	5.66	0.01		
	Gamma	5.3	0.02		
FS-CE	Delta	3.74	0.05		
	Beta2	4.42	0.03		
	Gamma	4.39	0.03		
FS-TA	Theta1	10.37	0.002	5.78	0.01
	Theta2	5.26	0.02		
	Alfa1	4.15	0.04		
	Alfa2	5.99	0.01		
	Beta1	5.09	0.02		
	Beta2	3.92	0.04		
	Gamma	13.76	0.0006	9.63	0.002
FS-PA	Theta1	6.84	0.009	4.93	0.02
	Alfa1	4.11	0.04	3.88	0.04
	Alfa2	13.43	0.0006	6.57	0.01
	Beta1	34.51	0.0001	26.41	0.0001
	Beta2	30.7	0.0001	25.91	0.0001
	Gamma	17.08	0.0002	11.58	0.001

FS-TP	Alfa1			6.84	0.009
	Alfa2	9.22	0.003	7.7	0.006
	Beta1	18.12	0.0001	22.37	0.0001
	Beta2	21.96	0.0001	25.26	0.0001
	Gamma	17.29	0.0002	16.5	0.0002
FI-CE	Beta1	3.95	0.04	3.88	0.04
	Beta2	7.2	0.008	4.89	0.02
	Gamma	14.95	0.0004	9.21	0.003
FI-TA	Delta	4.61	0.03	3.81	0.04
	Beta1	6.82	0.009		
FI-PA	Theta1			4.14	0.04
	Alfa1	7.11	0.008	10.17	0.002
	Alfa2	7.78	0.006	5.43	0.01
	Beta1	26.55	0.0001	28.57	0.0001
	Beta2	34.15	0.0001	32.96	0.0001
	Gamma	32.42	0.0001	25.82	0.0001
FI-TP	Alfa1			6.94	0.009
	Alfa2			3.56	0.05
	Beta1			11.62	0.001
	Beta2	8.59	0.004	10.55	0.001
	Gamma	14.75	0.0004	16.2	0.0003
CE-TA	Theta1	8.53	0.004	7.39	0.007
	Theta2	4.55	0.03		
	Gamma	4.5	0.03		
CE-PA	Delta	12.97	0.0008	10.56	0.001
	Theta1	15.94	0.0003	10.8	0.001
	Alfa1	4.82	0.02		
	Alfa2	18.39	0.0001	8.02	0.005
	Beta1	35.58	0.0001	21.18	0.0001
	Beta2	42.16	0.0001	24.21	0.0001
CE-TP	Gamma	8.85	0.003		
	Alfa2	6.32	0.01	4.53	0.03
	Beta1	9.17	0.003	9.54	0.002
	Beta2	9.16	0.003	7.88	0.005
TA-PA	Gamma	6.46	0.01		
	Delta	4.46	0.03	11.79	0.001
	Theta1	25.55	0.0001	30.61	0.0001
	Theta2	8.61	0.004	7.97	0.005
	Alfa1	14.22	0.0005	15.69	0.0003
	Alfa2	19.19	0.0001	10.49	0.001
TP-PA	Beta1	8.19	0.005	5.7	0.01
	Gamma	9.19	0.003	5.4	0.02
	Alfa2	5.77	0.01		
TP-PA	Beta1	11.38	0.001	8.41	0.004
	Beta2	4.77	0.02		

Diferencias por condiciones

Se presentó una diferencia significativa en la rTRA en el entorno con marcas en delta entre Frontal Superior (FS) y Frontal Inferior (FI), siendo mayor en LB en comparación con T1 ($p < 0.05$).

A su vez, se observó menor rTRA en alfa1 entre FS y Parietal (PA) en LB en comparación con CC ($p < 0.05$) (Ver Tabla 13), en el mismo entorno.

Para la banda rápida de gamma se observó mayor correlación en T1 en comparación con LB entre Central (CE) y PA ($p < 0.05$).

Para el entorno sin marcas no se observó ninguna diferencia significativa para ninguna banda.

Tabla 13.
Diferencias por condiciones significativas en la correlación intrahemisférica entorno con marcas.

Derivación	Banda	Entorno con marcas	
		F _(3, 144)	p (F)
FS-FI	Delta	3.68	0.01
FS-PA	Alfa1	2.89	0.03
CE-PA	Gamma	3.11	0.02

Interacción sexo por condición

No se observó ninguna interacción sexo por condición en la rTRA en ninguna banda para ninguno de los dos entornos.

Interacción sexo por derivación.

Los hombres mostraron mayor rTRA en el hemisferio izquierdo (HI) en comparación con las mujeres en el entorno con marcas: en las bandas alfa2 ($p < 0.01$), beta2 ($p < 0.01$) y gamma ($p < 0.01$) entre FI-PA; en las bandas beta1 ($p < 0.05$) y beta2 ($p < 0.01$) entre FI-CE; en la banda alfa2 ($p < 0.01$) entre FI y Temporal Posterior (TP); en las bandas alfa1 ($p < 0.05$) y alfa 2 ($p < 0.01$) entre TP-FS; en la banda alfa 2 ($p < 0.05$) entre TP-CE (Ver Tabla 14) (Ver Fig. 18).

Por su parte las mujeres mostraron mayor rTRA en el hemisferio derecho (HD) en la banda alfa 2 ($p < 0.01$) entre TP-FI y entre FI-CE ($p < 0.05$). A su vez, las mujeres mostraron menor rTRA en el HI entre Temporal Anterior y PA en delta ($p <$

0.05), theta1 ($p < 0.01$), theta2 ($p < 0.01$), alfa1 ($p < 0.01$) y alfa2 ($p < 0.01$) (Ver Tabla 14) (Ver Fig. 19).

Tabla 14.
Diferencias sexuales por derivación significativas en la correlación intrahemisférica entorno con marcas.

Derivación	Banda	F _(1, 144)	p (F)
FS-TP	Alfa1	6.54	0.01
	Alfa2	9.83	0.002
FI-CE	Alfa2	8.53	0.004
	Alfa2	10.92	0.001
FI-PA	Beta2	3.54	0.05
	Gamma	5.08	0.02
FI-TP	Alfa2	7.9	0.005
CE-TP	Alfa2	5.04	0.02
	Delta	5.66	0.01
	Theta1	4.26	0.03
	Theta2	5.37	0.02
TA-PA	Alfa1	6.94	0.009
	Alfa2	7.32	0.007

La rTRA en el entorno sin marcas fue similar a la presentada en el entorno con marcas. Los hombres mostraron mayor rTRA en el HI que las mujeres en las bandas beta1 ($p < 0.05$) y gamma ($p < 0.05$) entre FI-CE; alfa2 ($p < 0.05$), beta2 ($p < 0.01$) y gamma ($p < 0.01$) entre FI-PA; alfa1 ($p < 0.05$), alfa2 ($p < 0.05$) entre FI-TP; en alfa2 ($p < 0.01$) entre FS-TP y en las bandas delta ($p < 0.01$) y alfa 2 ($p < 0.01$) entre TA-PA (Ver Tabla 15).

Tabla 15.
Diferencias sexuales por derivación
significativas en la correlación
intrahemisférica entorno sin marcas

Derivación	Banda	F _(1, 144)	p (F)
FS-TP	Alfa2	7.7	0.006
FI-C	Beta1	3.57	0.05
	Gamma	6.26	0.01
FI-P	Alfa2	6.6	0.01
	Beta2	4.87	0.02
	Gamma	8.12	0.005
FI-TP	Alfa1	5.76	0.01
	Alfa2	5.13	0.02
TA-P	Delta	3.51	0.05
	Alfa2	4.42	0.03

No se observó ninguna interacción condición por derivación, ni sexo por condición por derivación en la rTRA en ninguna banda para ninguno de los dos entornos.

Correlación intrahemisférica

Con marcas

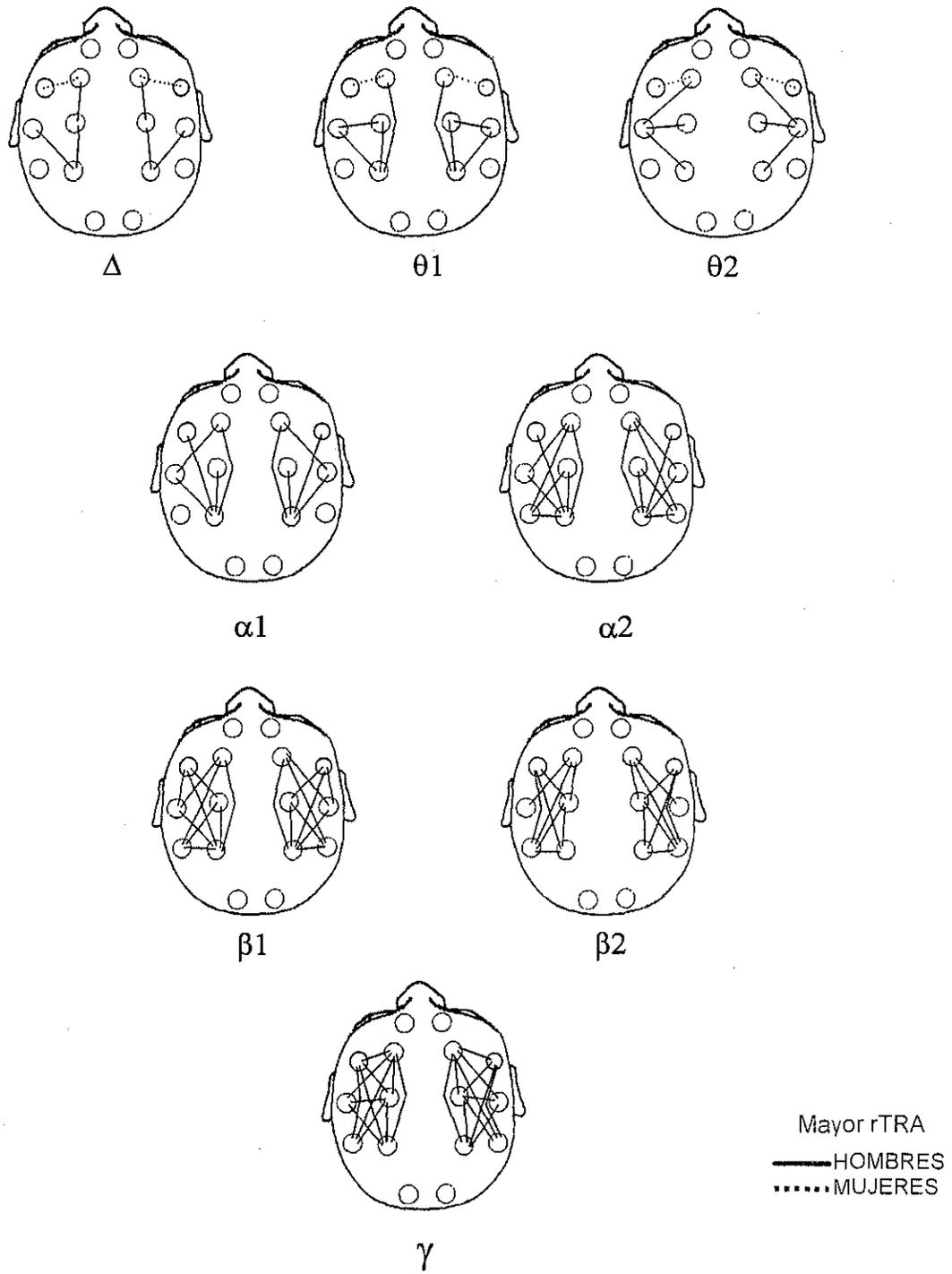


Figura 16. Diferencias sexuales en la Correlación Intrahemisférica, en la sesión inicial, en el entorno con marcas, en todas las condiciones.

Correlación intrahemisférica

Sin marcas

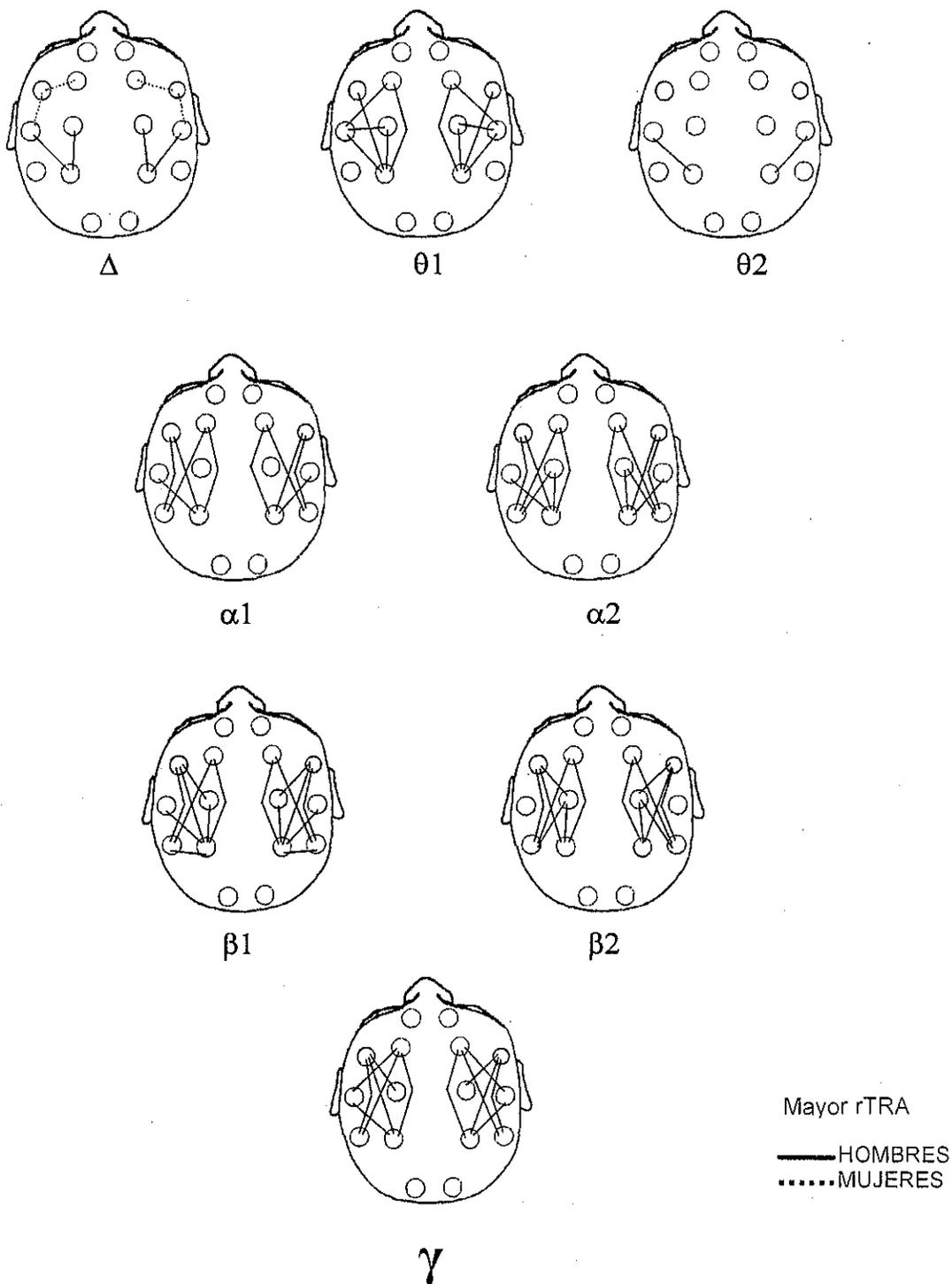


Figura 17. Diferencias sexuales en la Correlación Intrahemisférica, en la sesión inicial, en el entorno con marcas, en todas las condiciones.

Correlación Intrahemisférica
Diferencias sexuales por hemisferio
Con marcas

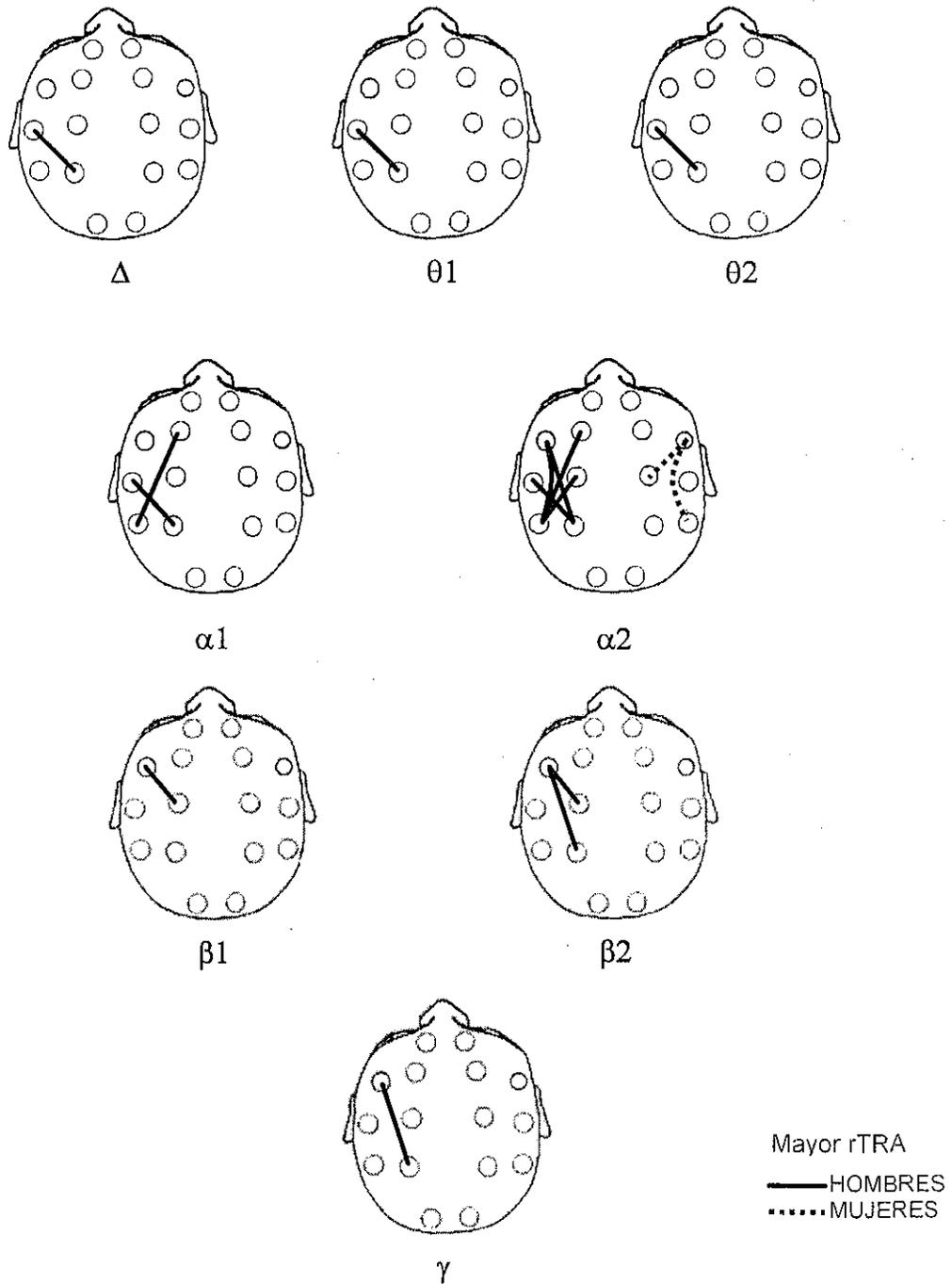


Figura 18. Diferencias sexuales por hemisferio en la Correlación Intrahemisférica, en la sesión inicial, en el entorno con marcas, en todas las condiciones.

Correlación Intrahemisférica
Diferencias sexuales por hemisferio
Sin marcas

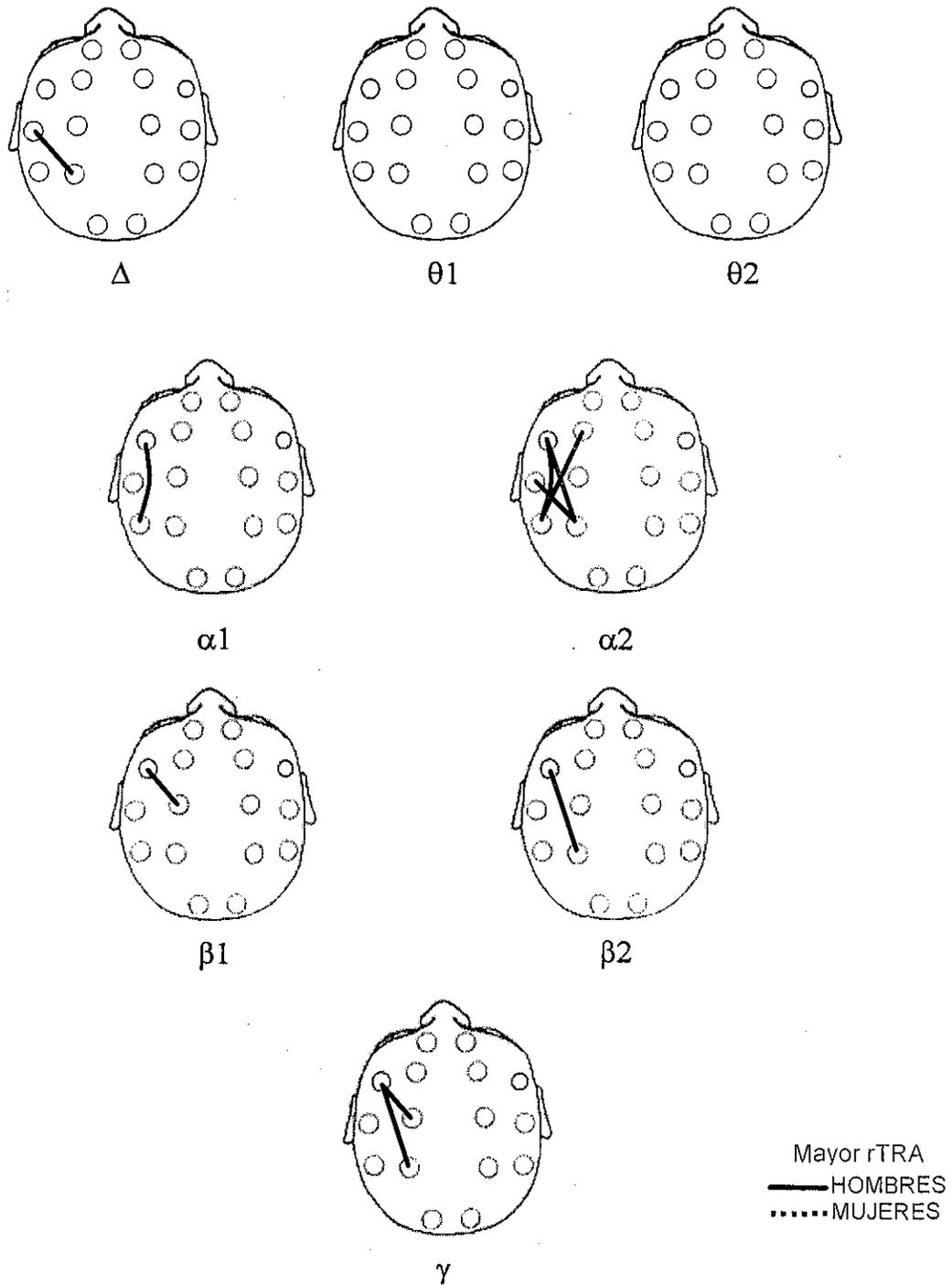


Figura 19. Diferencias sexuales por hemisferio en la Correlación Intrahemisférica, en la sesión inicial, en el entorno sin marcas, en todas las condiciones.

Resultados diferencias pre/post entrenamiento

Ejecución conductual en la tarea de navegación espacial.

Diferencias sexuales

La única diferencia sexual en el desempeño conductual fue en el tiempo perdido para llegar al lugar blanco en el entorno con marcas, donde las mujeres perdieron más tiempo en comparación con los hombres ($F_{(1,18)}=5.5$, $p < 0.02$). También se observó en las mujeres una tendencia a hacer más vueltas equivocadas y voltear más veces para buscar el lugar blanco.

Diferencias entre sesiones

En el entorno con marcas, en la sesión post-entrenamiento en comparación a la sesión pre entrenamiento tanto en hombres como en mujeres se observó un aumento en el número de veces que llegaron al lugar blanco ($F_{(1,18)}=25.14$, $p < 0.0002$), disminuyó la distancia navegada fuera de ruta ($F_{(1,18)}=5.99$ $p < 0.02$), el número de vueltas equivocadas ($F_{(1,18)}=6.02$, $p < 0.02$), las veces que voltearon buscando el lugar blanco ($F_{(1,18)}=7.52$, $p < 0.01$) y el tiempo perdido para llegar al lugar blanco ($F_{(1,18)}=8.44$, $p < 0.009$) (Ver Fig. 20).

En el entorno sin marcas ningún indicador mostró algún cambio significativo.

No se observaron diferencias significativas sexo por sesión.

Un análisis por sesiones para cada sexo mostró que las mujeres navegaron menor distancia fuera de ruta ($F= 5.44$, $p < 0.01$) en el entorno con marcas. Los hombres perdieron menos tiempo al navegar ($F= 6.4$ $p > 0.01$), navegaron menos cuadras fuera de ruta ($F= 5.44$ $p < 0.01$), voltearon menos al navegar ($F= 6.4$ $p > 0.01$) en el mismo entorno.

Estrategias

En cuanto a las estrategias, ambos sexos emplearon estrategias mixtas para navegar en el entorno con marcas, usaron conteo de calles y marcas. Además los hombres emplearon con mayor frecuencia que las mujeres estrategias de coordenadas y visualización global del entorno (como mapa).

En comparación con la sesión inicial ambos grupos emplearon menor número de marcas, si bien las siguieron empleando; en algunas ocasiones emplearon coordenadas y visualización global al navegar.

En el entorno sin marcas, ambos sexos emplearon estrategias mixtas de conteo de calles y coordenadas, con visualización tanto global como a nivel de piso.

En comparación con la sesión inicial, ambos sexos disminuyeron su empleo de marcas para orientarse y navegar, centrando sus esfuerzos en ubicarse por coordenadas y visualizar globalmente el entorno.

Los hombres emplearon más rutas directas, en cambio las mujeres emplearon más rutas equivocadas, en el entorno con marcas.

En el entorno sin marcas, ambos sexos emplearon rutas directas (Ver Anexo G1).

Diferencias Pre/Post entrenamiento ejecución conductual con marcas

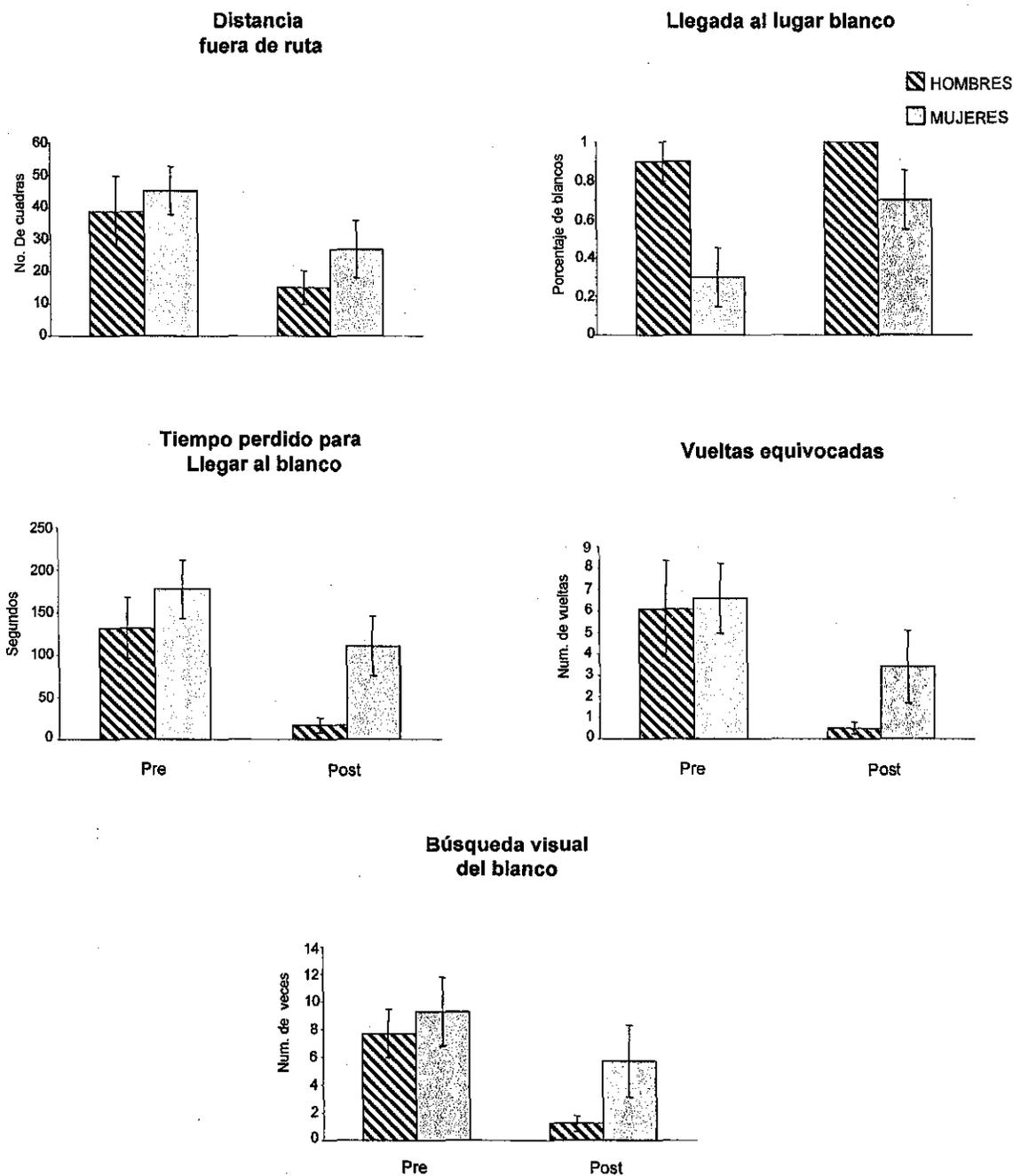


Figura 20: Media y error estándar por indicador conductual, en las sesiones pre/post entrenamiento, en el entorno con marcas.

Resultados EEG

Para calcular el cambio ocurrido en la actividad eléctrica de la sesión inicial a la sesión final se realizó la resta de la condición control (CC) a la tarea (T1) en ambas sesión por separado, para cada uno de los entornos.

Potencia Absoluta

No se observaron diferencias en la PA por sexos, ni entre la sesión inicial y la sesión final, ni en la interacción sexos por las sesiones, ni sexos por las sesiones por derivaciones en ninguna banda en ningún entorno.

Interacción sesión inicial-final por derivación

Se observó un decremento en PA de las bandas delta ($F_{(13,234)}=1.92, p < 0.02$) (Ver Fig. 21) y alfa1 ($F_{(13,234)}=1.99, p < 0.02$) (Ver Fig. 22) en la sesión final, en el entorno con marcas, sin ser significativo para ninguna derivación en particular.

No se mostró ninguna interacción en el entorno sin marcas.

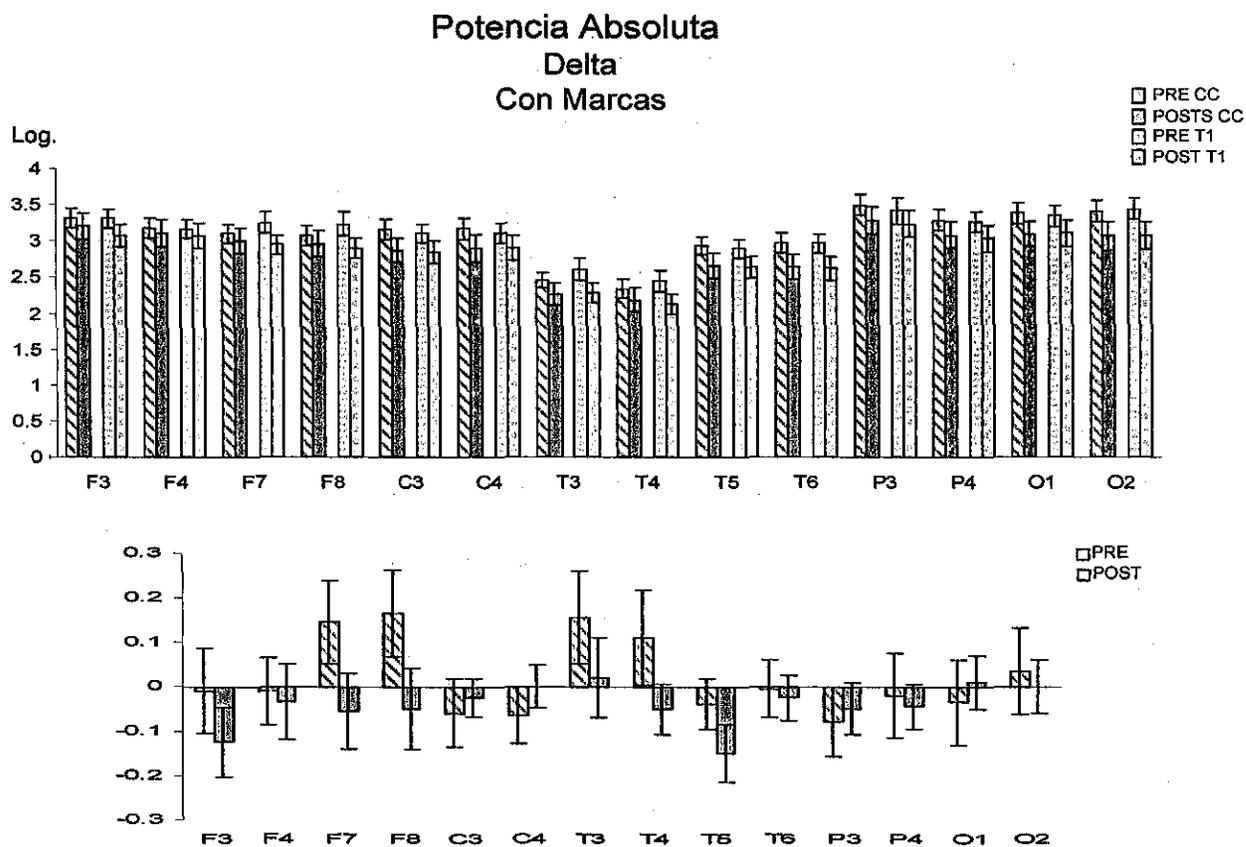


Figura. 21. Media y error estándar de la Potencia Absoluta de Delta y la diferencia de la Tarea (T1) y la condición control (CC) en la sesión inicial (PRE) y la sesión final (POST), por derivación en el entorno con marcas.

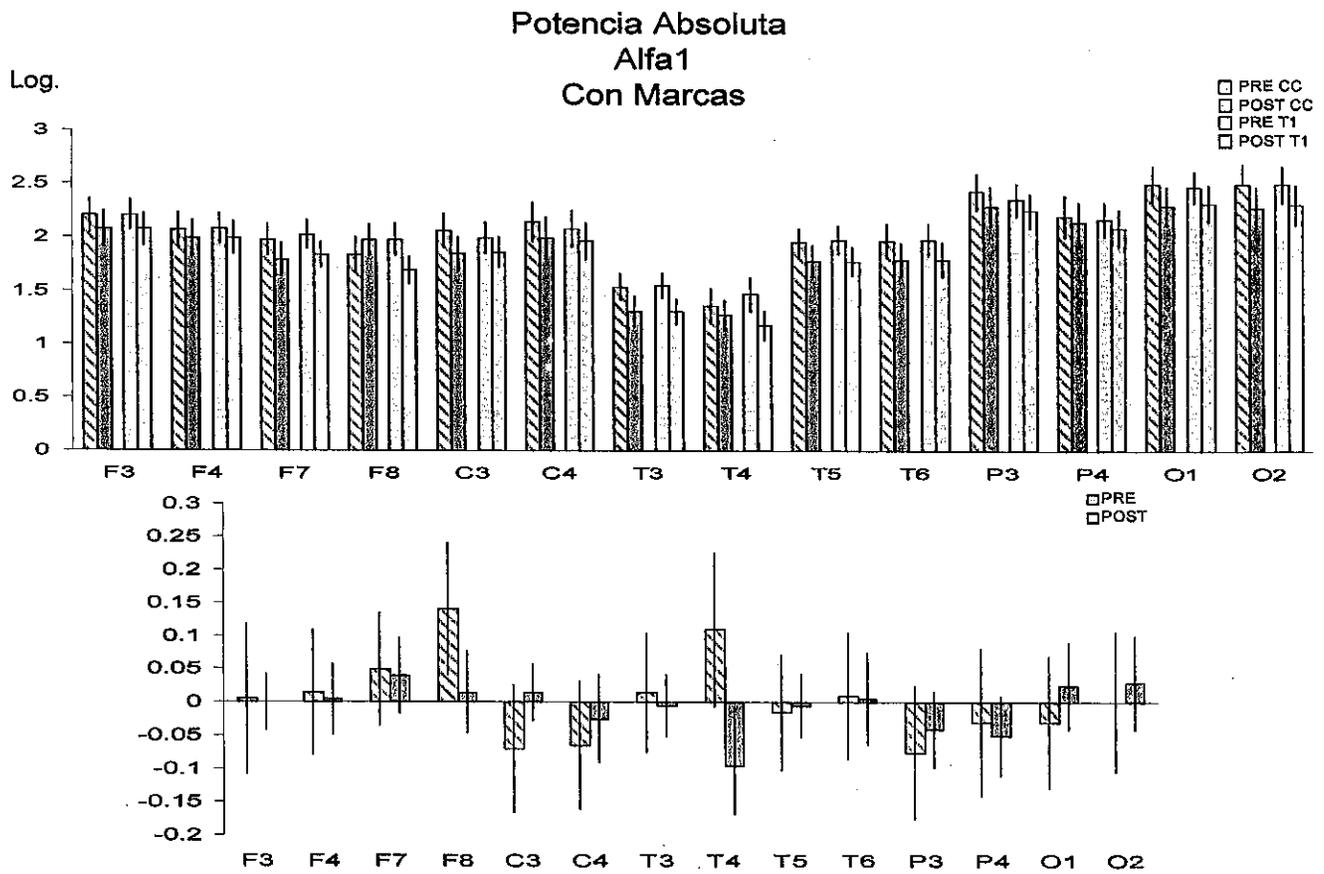


Fig. 22. Media y error estándar de la Potencia Absoluta de Alfa1 y la diferencia de T1-CC en la sesión inicial (PRE) y la sesión final (POST), por derivación en el entorno con marcas.

Potencia relativa

Se observó un aumento en beta1 ($F_{(1,18)}=4.73$, $p < 0.04$) (Ver Fig. 23) en el entorno sin marcas, después del entrenamiento.

En el entorno con marcas no fueron significativas las diferencias en ninguna banda.

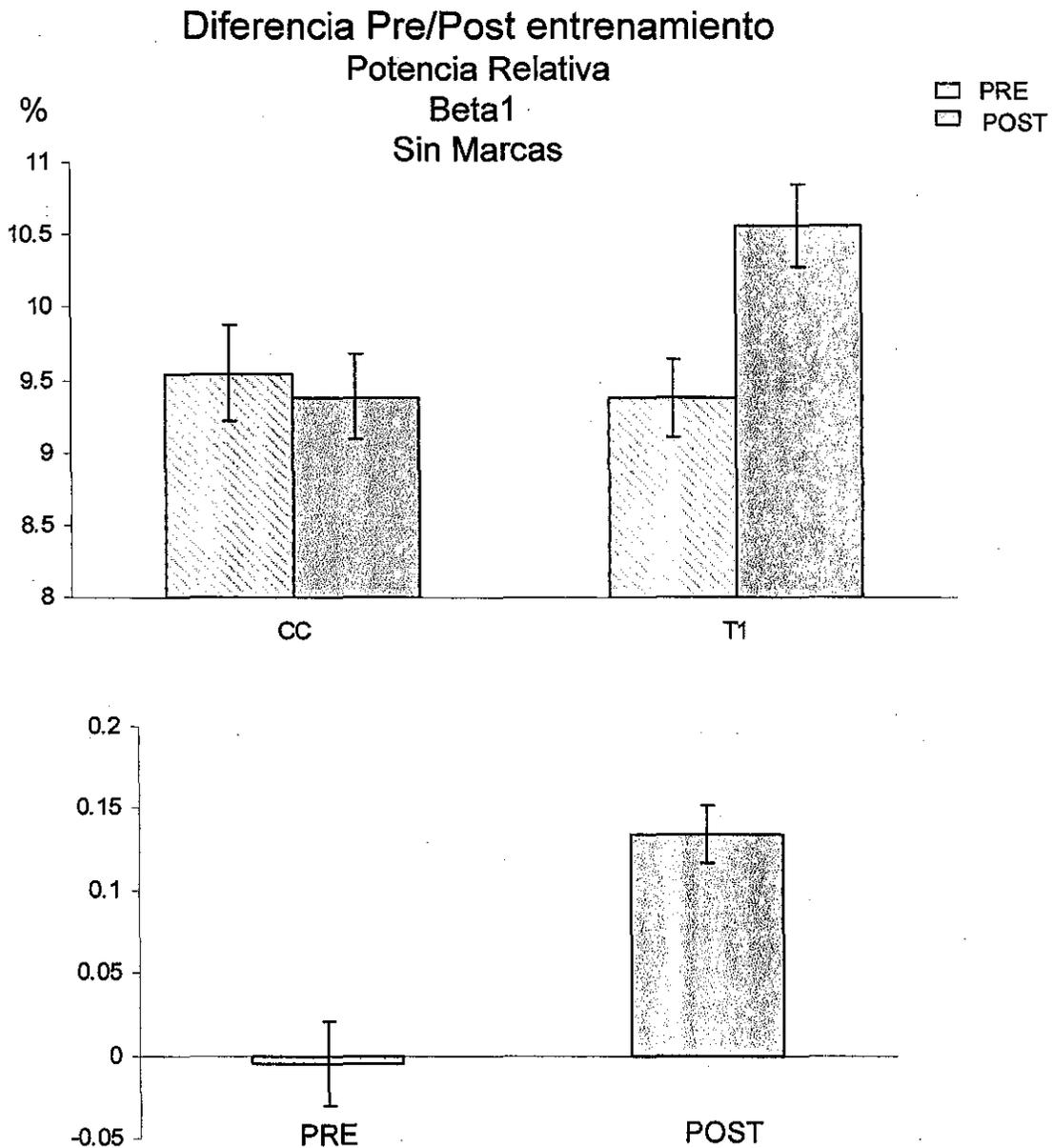


Figura 23. Media y error estándar de la Potencia Relativa y de la diferencia de T1-CC en beta1 en la sesión inicial (PRE) y la sesión final (POST) en el entorno sin marcas.

Interacción sexos por sesiones

En los hombres disminuyó la PR de delta ($F_{(1,18)}=5.83, p < 0.02$) en el entorno sin marcas (sin ser significativo en la prueba de Tukey). Con dicho cambio disminuyó la diferencia sexual en esta banda en la sesión final.

El resto de bandas y sesiones no mostraron diferencias significativas.

Interacción sexos por derivación.

En las mujeres se observó menor PR de delta ($F_{(13,234)}=1.83, p < 0.03$) en la T6 ($p < 0.01$), en el entorno sin marcas (Ver Fig. 24).

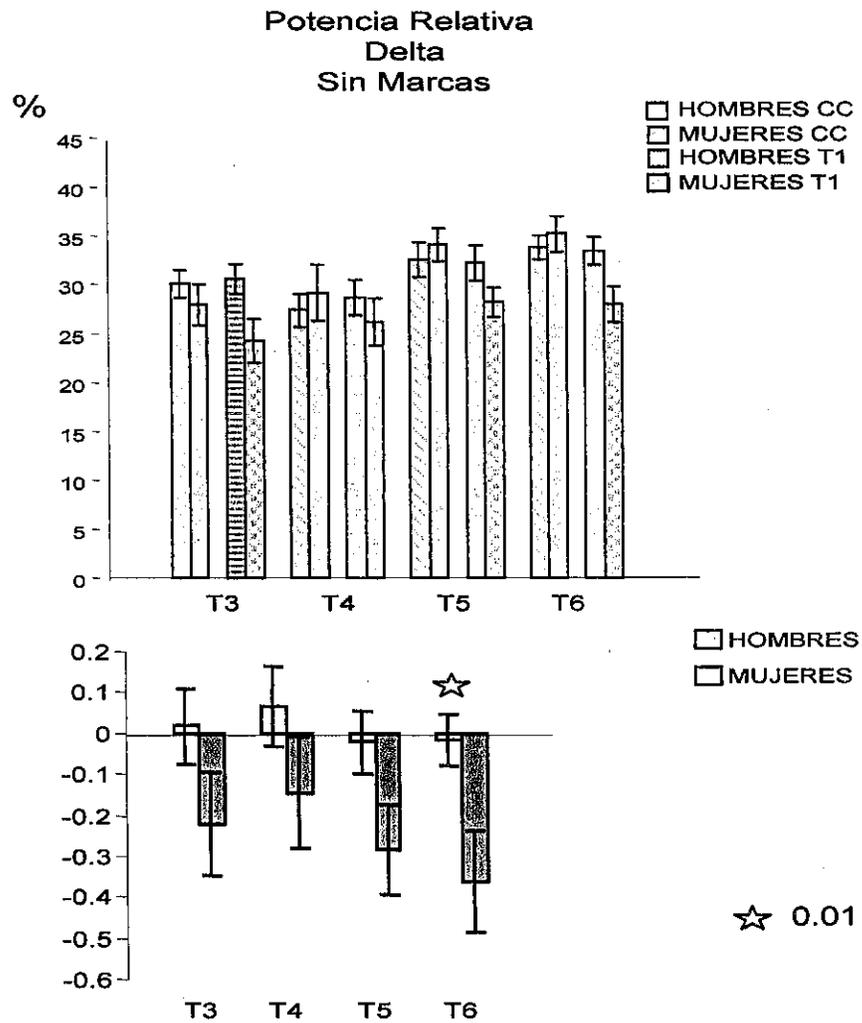


Figura 24. Media y error estándar de la Potencia Relativa y de la diferencia de T1-CC en Delta en la sesión inicial (PRE) y la sesión final (POST) en el entorno sin marcas.

Interacción sesiones por derivaciones.

En la banda alfa2 ($F_{(13,234)}=1.97$, $p < 0.02$) se incrementó la PR en F8 ($p < 0.05$) en el entorno con marcas, en la sesión final en comparación a la inicial (Ver Fig. 25).

Para el entorno sin marcas, la banda delta ($F_{(13,234)}=1.87$, $p < 0.03$) mostró una disminución en la PR en todas las derivaciones, particularmente en F8 ($p < 0.05$), en la sesión post entrenamiento en comparación la sesión pre entrenamiento semejante en ambos sexos (Ver Fig. 26).

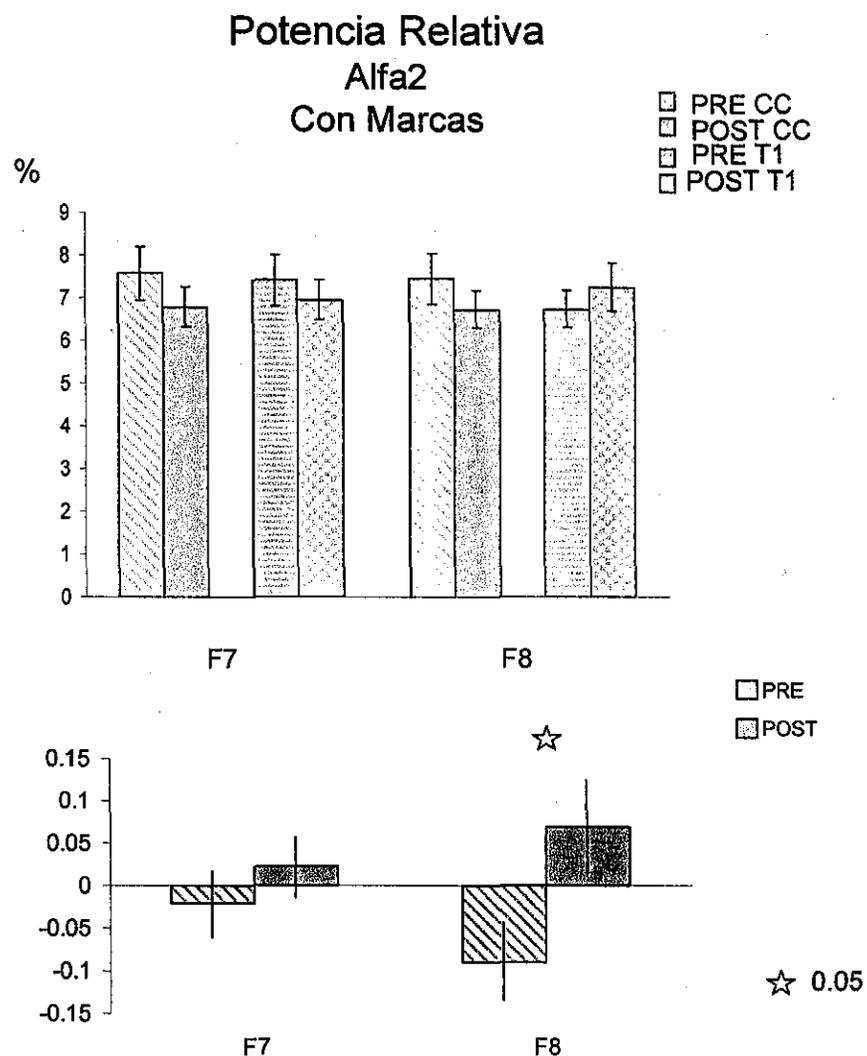


Figura 25. Media y error estándar de la Potencia Relativa y de la diferencia de T1-CC en Alfa2 en la sesión inicial (PRE) y la sesión final (POST) en el entorno con marcas.

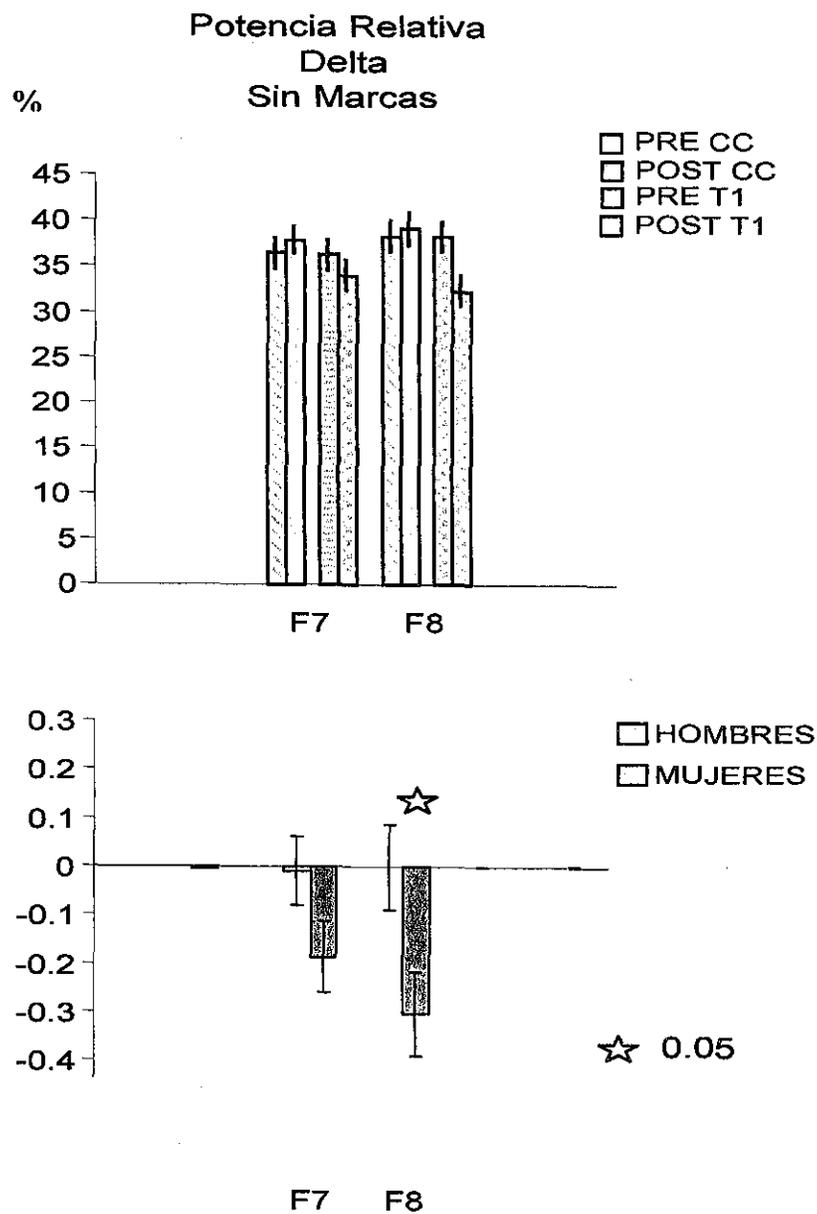


Figura 26. Media y error estándar de la Potencia Relativa y de la diferencia de T1-CC en Delta en la sesión inicial (PRE) y la sesión final (POST) en el entorno sin marcas.

Interacción sexos por sesiones por derivaciones

Para theta1 ($F_{(13,234)}=2.12$, $p < 0.01$) en el entorno con marcas, disminuyó la PR en las mujeres, sin ser significativo en ninguna derivación en particular.

En theta2 ($F_{(13,234)}=1.79$, $p < 0.04$) en el entorno sin marcas, en los hombres aumentó la PR en HD, particularmente en F8 ($p < 0.05$) en la sesión final en comparación a la sesión inicial (Ver Fig. 27).

No mostraron diferencias sexuales en ninguna banda, en ningún entorno.

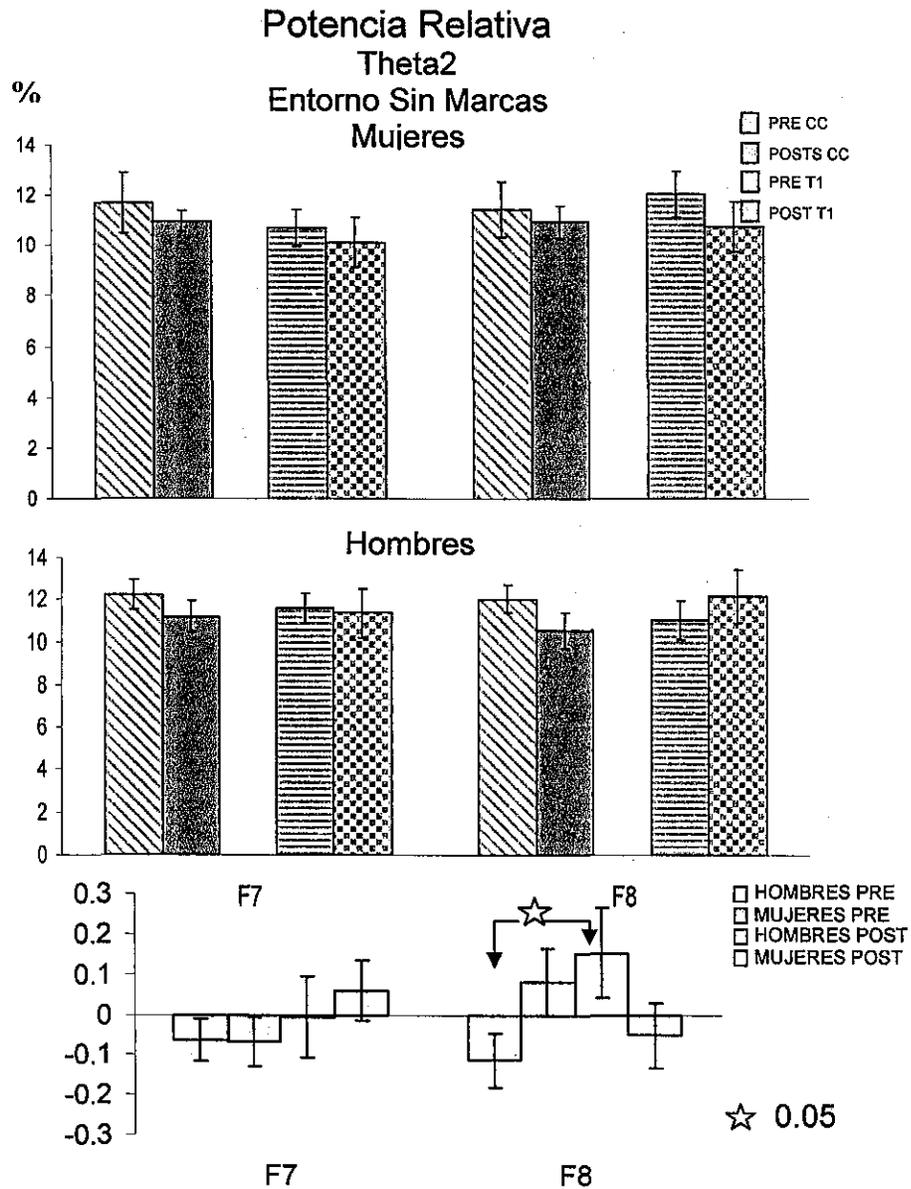


Figura 27. Media y error estándar de la Potencia Relativa y de la diferencia de T1-CC en Theta2 en la sesión inicial (PRE) y la sesión final (POST) en el entorno sin marcas.

Correlación interhemisférica

Diferencias sexuales

En las mujeres en comparación con los hombres fue mayor la rTER en theta1 ($F_{(1,18)}=17.77$, $p < 0.0008$) y delta ($F_{(1,18)}=9.11$, $p < 0.007$), en el entorno sin marcas.

En el entorno con marcas no hubo diferencias.

Diferencias sesión inicial-final

Aumentó la rTER en la sesión post entrenamiento en comparación a la sesión pre entrenamiento en alfa1 ($F_{(1,18)}=7.62$, $p < 0.01$) en el entorno con marcas.

Disminuyó la rTER en la sesión post entrenamiento en comparación a la sesión pre entrenamiento en delta ($F_{(1,18)}=5.62$, $p < 0.02$) en el entorno sin marcas.

Interacción sexos por sesiones

Aumentó la rTER en las mujeres en comparación a los hombres en theta1 ($F_{(1,18)}=5.30$, $p < 0.03$) en el entorno con marcas.

En el entorno sin marcas no hubo diferencias significativas.

Interacción sexos por derivaciones.

En beta2 ($F_{(6,108)}=2.23$, $p < 0.04$) las mujeres tuvieron mayor rTER en comparación a los hombres entre T3-T4, T5-T6, y O1-O2, en tanto los hombres tuvieron mayor rTER en F3-F4, F7-F8, C3-C4, y P3-P4 en el entorno con marcas (sin ser significativa la diferencia mediante la prueba de Tukey).

En el entorno sin marcas, en las bandas lentas se observó mayor rTER en las derivaciones posteriores en las mujeres en comparación a los hombres en: delta en T5-T6 ($p < 0.05$), P3-P4 ($p < 0.01$), O1-O2 ($p < 0.01$) y en theta1 en P3-P4 ($p < 0.01$); también las mujeres tuvieron menor rTER en comparación a los hombres en alfa1 en T3-T4 ($p < 0.01$) y en gamma en P3-P4 ($p < 0.01$)(Ver Fig. 28).

Tabla 16.
Diferencias sexuales significativas por derivación en la correlación interhemisférica entorno sin marcas.

Banda	F _(6,108)	p (F)
Delta	6.18	0.0001
Theta1	8.46	0.0001
Alfa1	36.32	0.0001
Gamma	7.03	0.0001

Interacción sesiones por derivaciones

Disminuyó la rTER en la banda beta1 ($F_{(6,108)}=2.23$, $p < 0.04$) en el entorno con marcas (sin ser significativa el cambio para ninguna derivación en particular).

En el entorno sin marcas en general se observó la disminución de rTER en derivaciones posteriores en las bandas lentas hasta alfa1 y tuvieron un incremento en las mismas derivaciones posteriores en la banda gamma.

En delta hubo un decremento en rTER en T5-T6 ($p < 0.01$), P3-P4 ($p < 0.01$), O1-O2 ($p < 0.01$); en theta1 se observó disminución rTER P3-P4 ($p < 0.01$) y O1-O2 ($p < 0.01$); Gamma aumentó en P3-P4 ($p < 0.01$), en el entorno sin marcas (Ver Fig. 29).

Tabla 17.
Diferencias entre sesiones por derivación la correlación interhemisférica entorno sin marcas.

Banda	F _(6,108)	p (F)
Delta	9.43	0.0001
Theta1	13.26	0.0001
Gamma	18.17	0.0001

No se observaron interacciones significativas sexos por sesiones por derivaciones en ningún entorno.

Correlación Interhemisférica
Diferencias sexuales
Entorno sin marcas

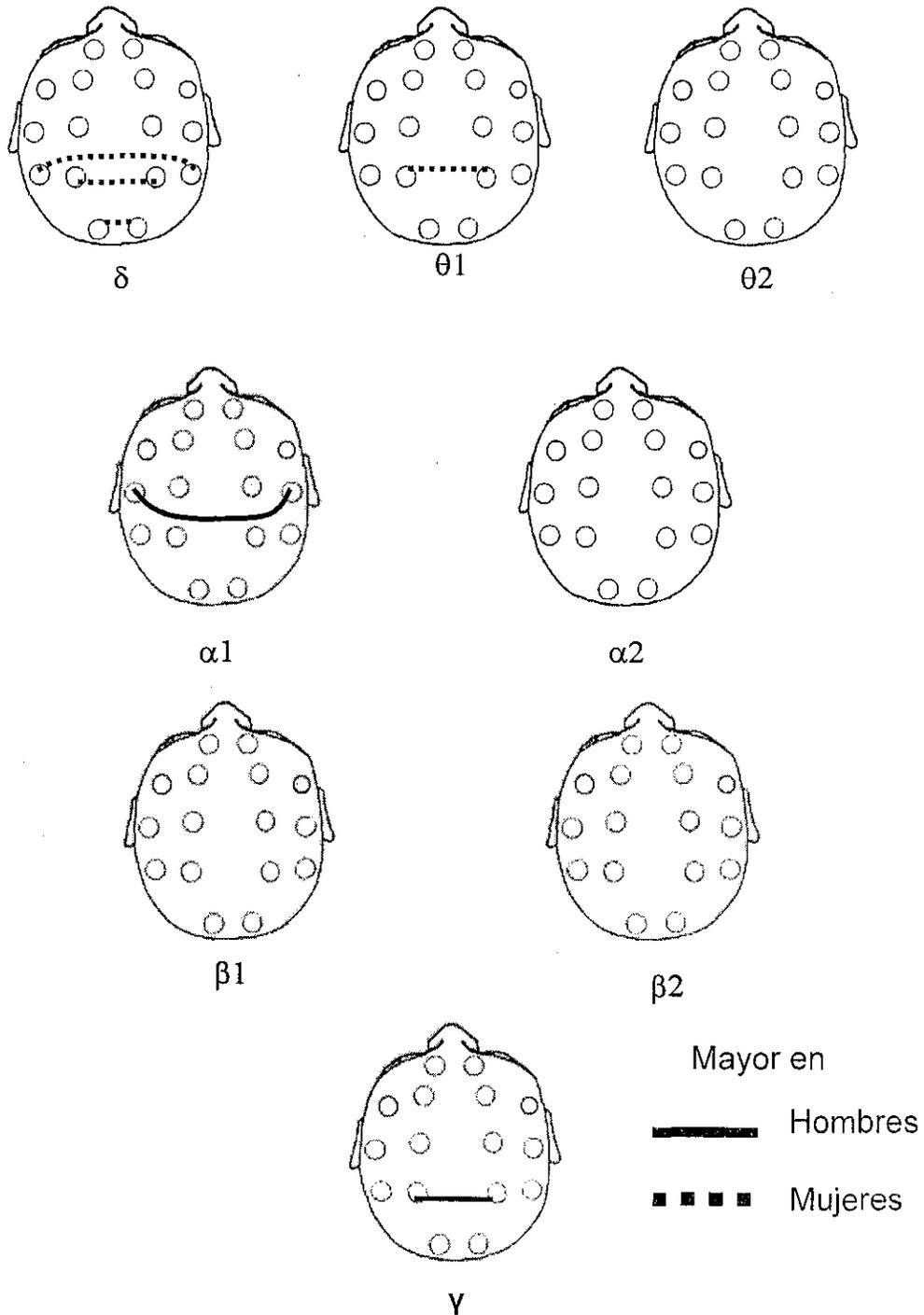


Figura 28. Diferencias sexuales de la diferencia de la tarea (T1) menos la condición control (CC) de la Correlación Interhemisférica, entre la sesión inicial (PRE) y la sesión final (POST), en el entorno sin marcas.

Correlación Interhemisférica

Entorno sin marcas

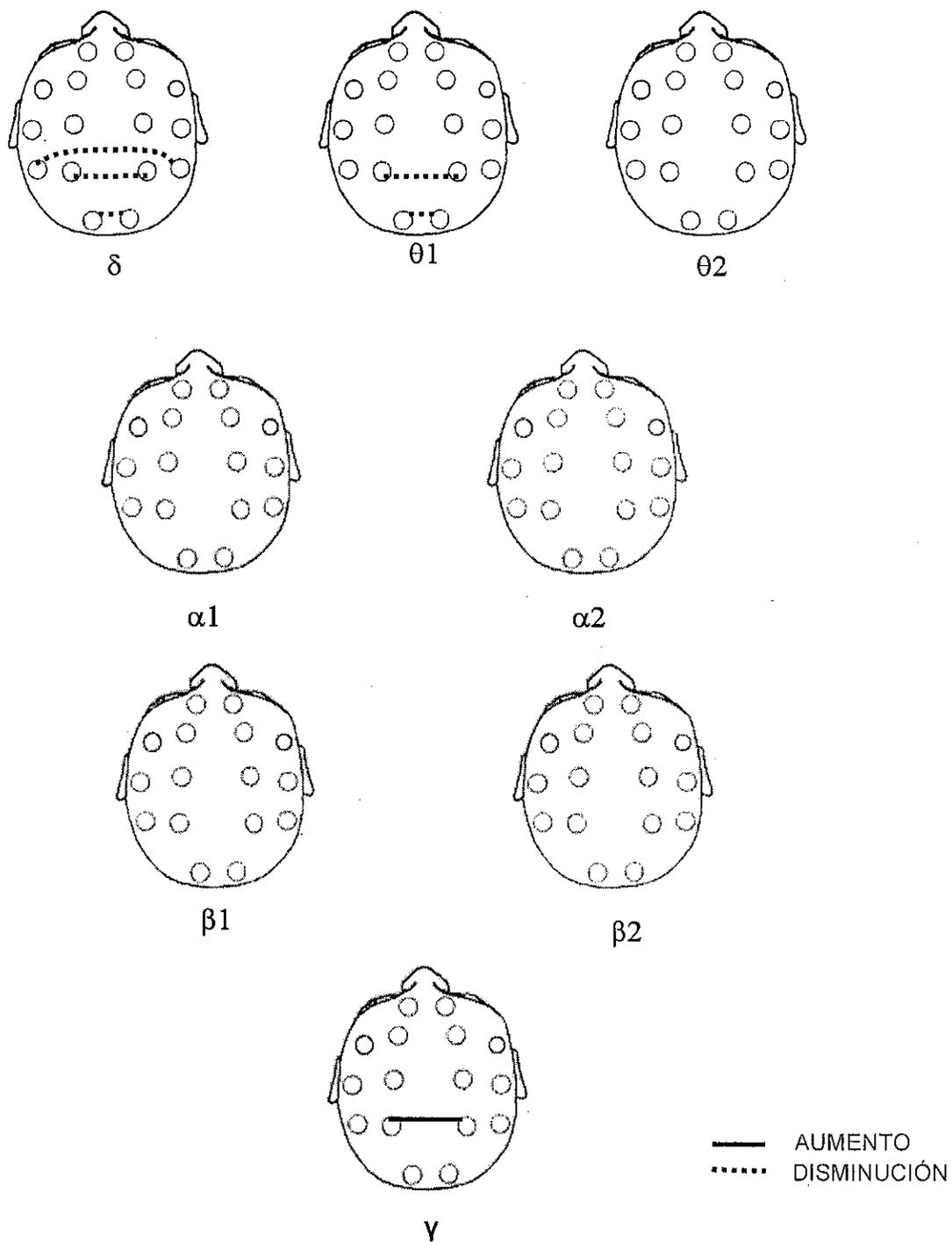


Figura 29. Diferencia de la tarea (T1) menos la condición control (CC) de la Correlación Interhemisférica, entre la sesión inicial (PRE) y la sesión final (POST), en el entorno sin marcas, en ambos sexos.

Correlación intrahemisférica

Diferencias sexuales

En los hombres se observó mayor rTRA en comparación a las mujeres de: theta2, entre Frontal Inferior (FI) y Temporal Anterior (TA); alfa2, entre Frontal Superior (FS) y TA; beta1 entre Central (CE) y Parietal (PA); y beta2 entre CE-PA y FS-CE, en el entorno con marcas (Ver Fig. 30).

En el entorno sin marcas los hombres presentaron mayor rTRA que las mujeres de theta1 entre Temporal Posterior (TP) y PA y TA-PA. En cambio, en las mujeres se mostró mayor rTRA que los hombres en theta2 entre FS-PA, FS-CE (Ver Fig. 31).

Diferencias entre sesiones

Se observó aumento en rTRA de delta entre TA-PA y FS-FI en la sesión post entrenamiento en comparación a la sesión pre entrenamiento; de alfa1 entre FS-PA en el entorno con marcas (Ver Fig. 32).

No se observaron diferencias en el entorno sin marcas.

Interacción sexos por sesiones

En los hombres aumentó la rTRA en comparación a las mujeres en la sesión post entrenamiento de theta1 entre FS-CE en theta1 en el entorno con marcas (aunque sin ser significativa con la prueba de Tukey).

En el entorno sin marcas disminuyó la rTRA en la banda delta entre FS-TP y TA-TP en los hombres en comparación a las mujeres (aunque sin ser significativa con la prueba de Tukey).

Interacción sexos por hemisferios

Los hombres presentaron menor rTRA de gamma que las mujeres en el hemisferio derecho entre FS-TP en ambas sesiones, en el entorno sin marcas.

En el entorno con marcas no hubo ninguna interacción significativa.

Interacción sesiones por hemisferios

Aumentó la rTRA en la sesión post entrenamiento en comparación a la sesión pre entrenamiento en el HI de alfa2 en FS-TP ($p < 0.01$) y FS-PA ($p < 0.01$). Entre FS-PA de beta2 disminuyó la rTRA en el HI ($p < 0.01$) en la sesión post entrenamiento, en el entorno con marcas.

En el entorno sin marcas disminuyó la rTRA derecha de alfa1 ($p < 0.05$) entre CE-PA en la sesión post entrenamiento.

Interacción sexos por sesiones por hemisferio

Hombres y mujeres presentaron patrones opuestos en las derivaciones en el entorno con marcas. La rTRA de alfa2 entre FS-PA aumentó en los hombres en ambos hemisferios en la sesión post entrenamiento ($p < 0.01$) y en las mujeres aumentó en el hemisferio izquierdo en la sesión post entrenamiento ($p < 0.01$). En los hombres disminuyó la rTRA de beta2 ($p < 0.05$) y gamma ($p < 0.01$) entre FS-FI en el HD, en la sesión post entrenamiento en comparación a la sesión pre entrenamiento. Aumentó la rTRA de alfa2 entre FS-TP en el hemisferio derecho en las mujeres en la sesión post entrenamiento ($p < 0.01$) en comparación a los hombres en la misma sesión.

En el entorno sin marcas no hubo cambios significativos corroborados mediante la prueba de Tukey. Los cambios fueron la rTRA de theta. En theta1 en FS-PA y CE-PA en los hombres aumentó la rTRA derecha y disminuyó la izquierda en la sesión post entrenamiento en comparación a la sesión pre entrenamiento, y en las mujeres viceversa. La rTRA de theta2 entre TA-PA, FS-TP, FS-TA, FS-PA, FI-TA y FI-PA disminuyó en las mujeres la correlación derecha y aumentó la izquierda y en tanto los hombres disminuyó la rTRA izquierda y aumentó la derecha en la sesión post entrenamiento.

Correlación Intrahemisférica

Diferencias sexuales

Entorno con marcas

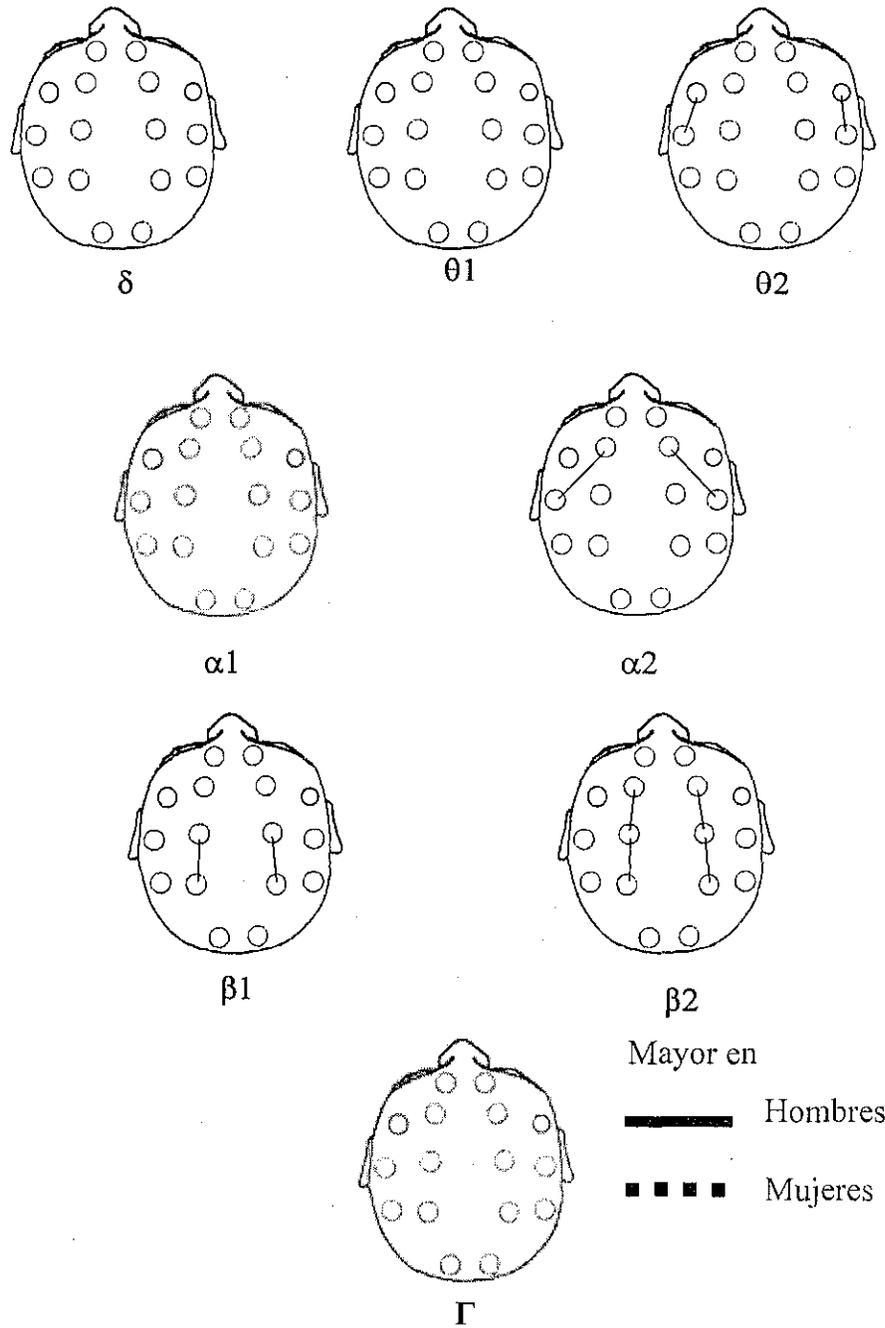


Figura 30. Diferencia de la tarea (T1) menos la condición control (CC) de la Correlación Intrahemisférica, en ambas sesiones, en el entorno con marcas.

Correlación Intrahemisférica

Diferencias sexuales

Entorno sin marcas

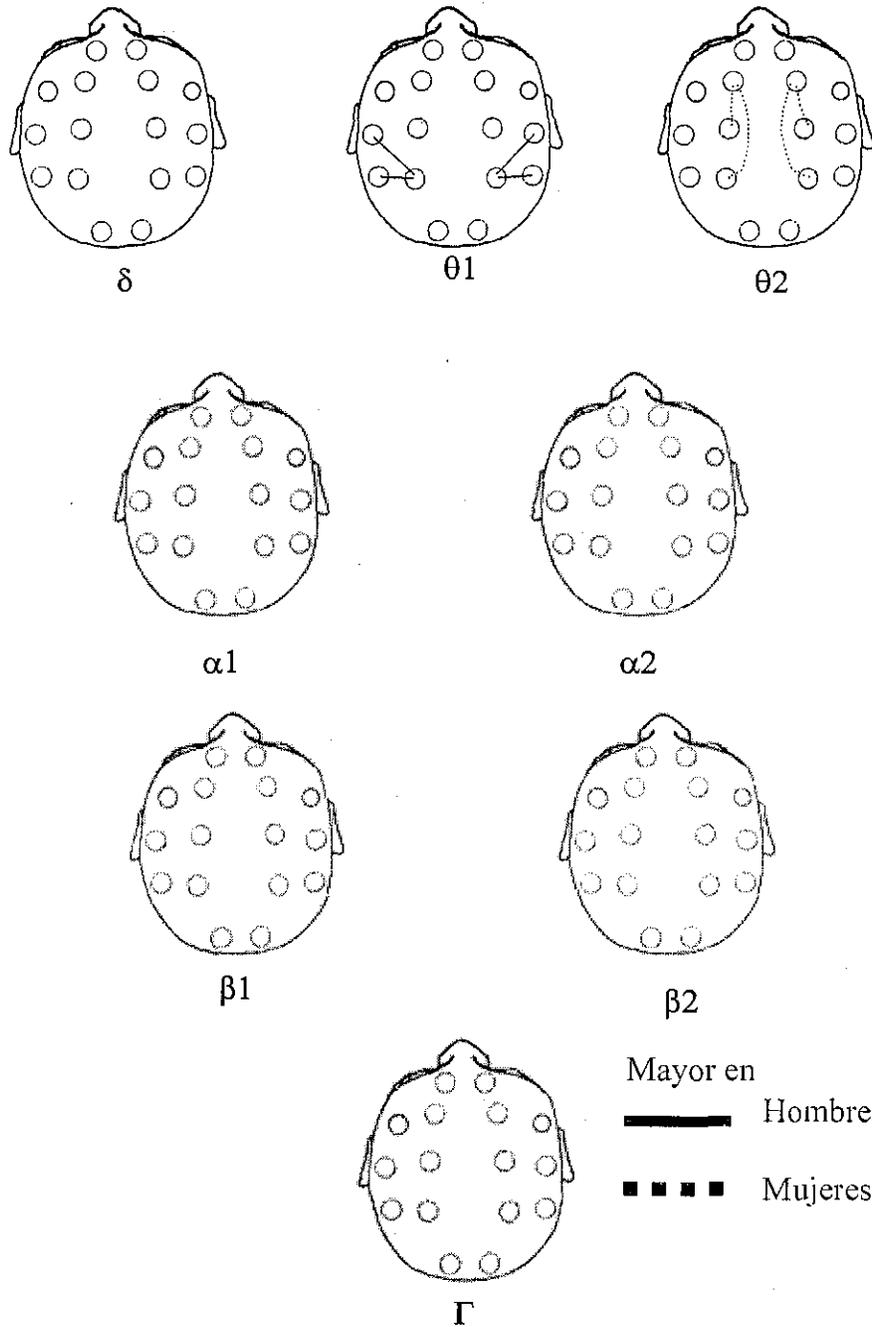


Figura 31. Diferencia de la tarea (T1) menos la condición control (CC) de la Correlación Intrahemisférica, en ambas sesiones, en el entorno sin marcas.

Correlación Intrahemisférica
Diferencias Pre-Post Entrenamiento
Entorno con marcas

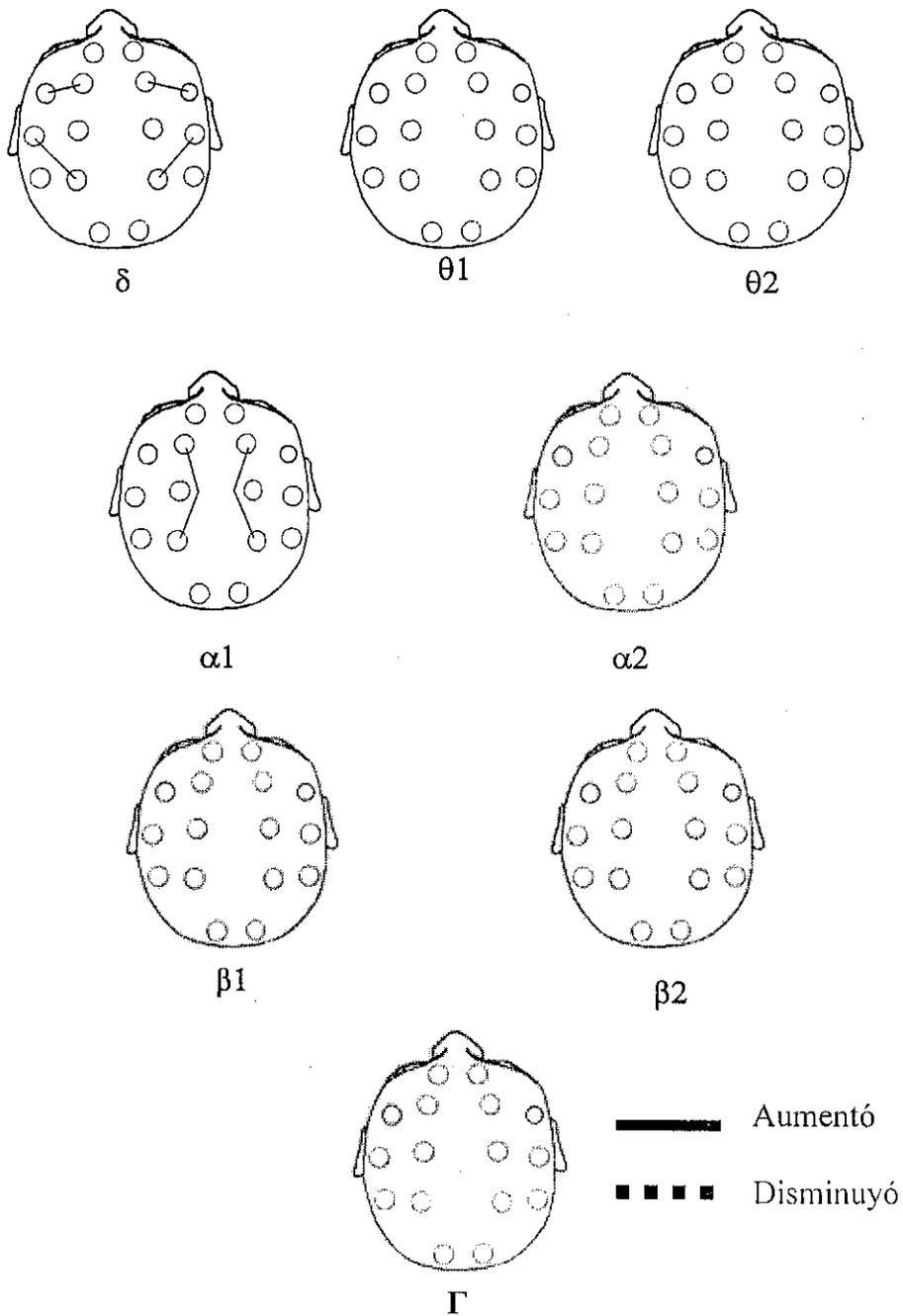


Figura 32. Diferencia de la tarea (T1) menos la condición control (CC) de la Correlación Intrahemisférica, entre la sesión PRE Entrenamiento y la sesión POST entrenamiento, en ambos sexos, entorno con marcas.

Correlación Intrahemisférica
Diferencias Pre-Post Entrenamiento
Hombres
Entorno con marcas

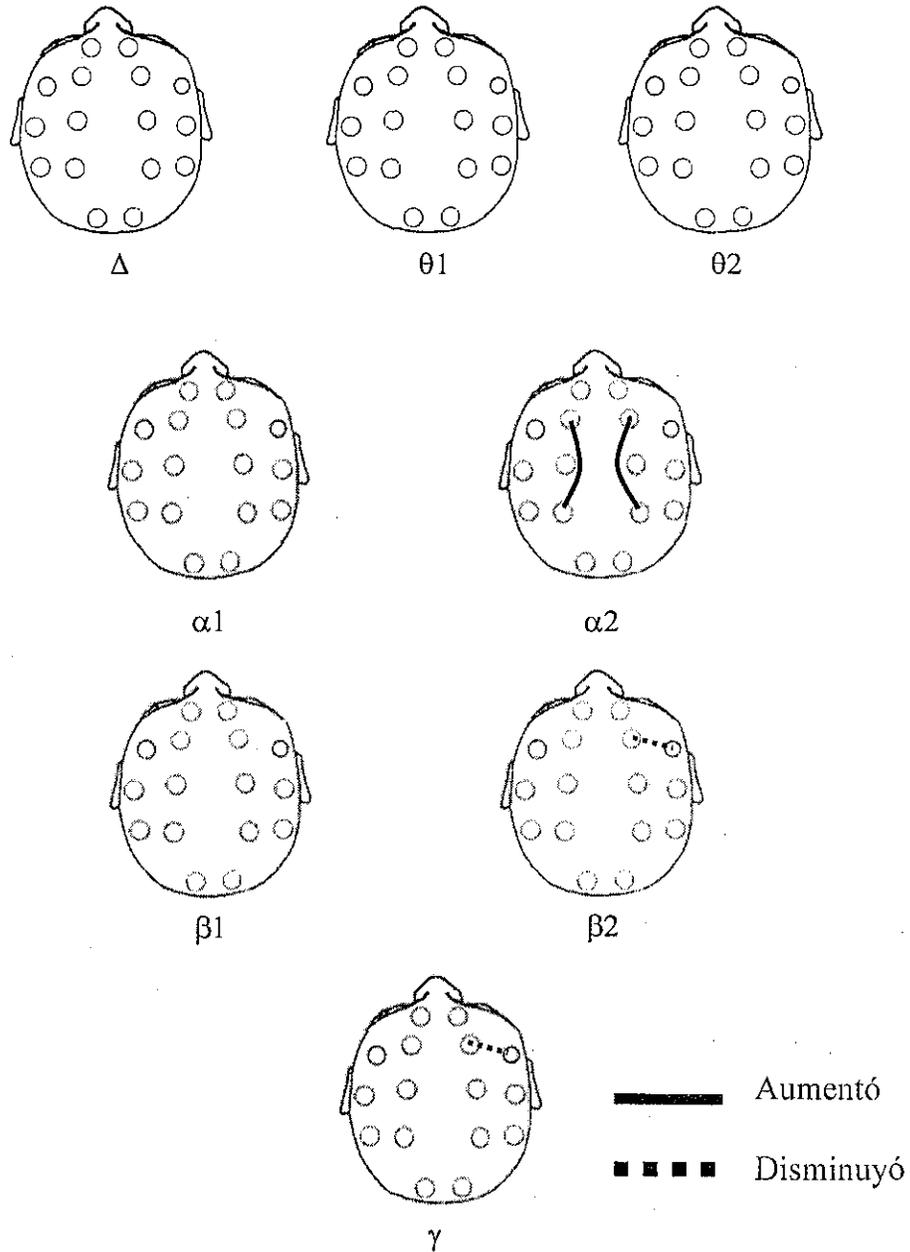


Figura 33. Diferencia de la tarea (T1) menos la condición control (CC) de la Correlación Intrahemisférica, entre la sesión PRE Entrenamiento y la sesión POST entrenamiento, en hombres, entorno con marcas.

Correlación Intrahemisférica

Diferencias Pre-Post Entrenamiento

Mujeres

Entorno con marcas

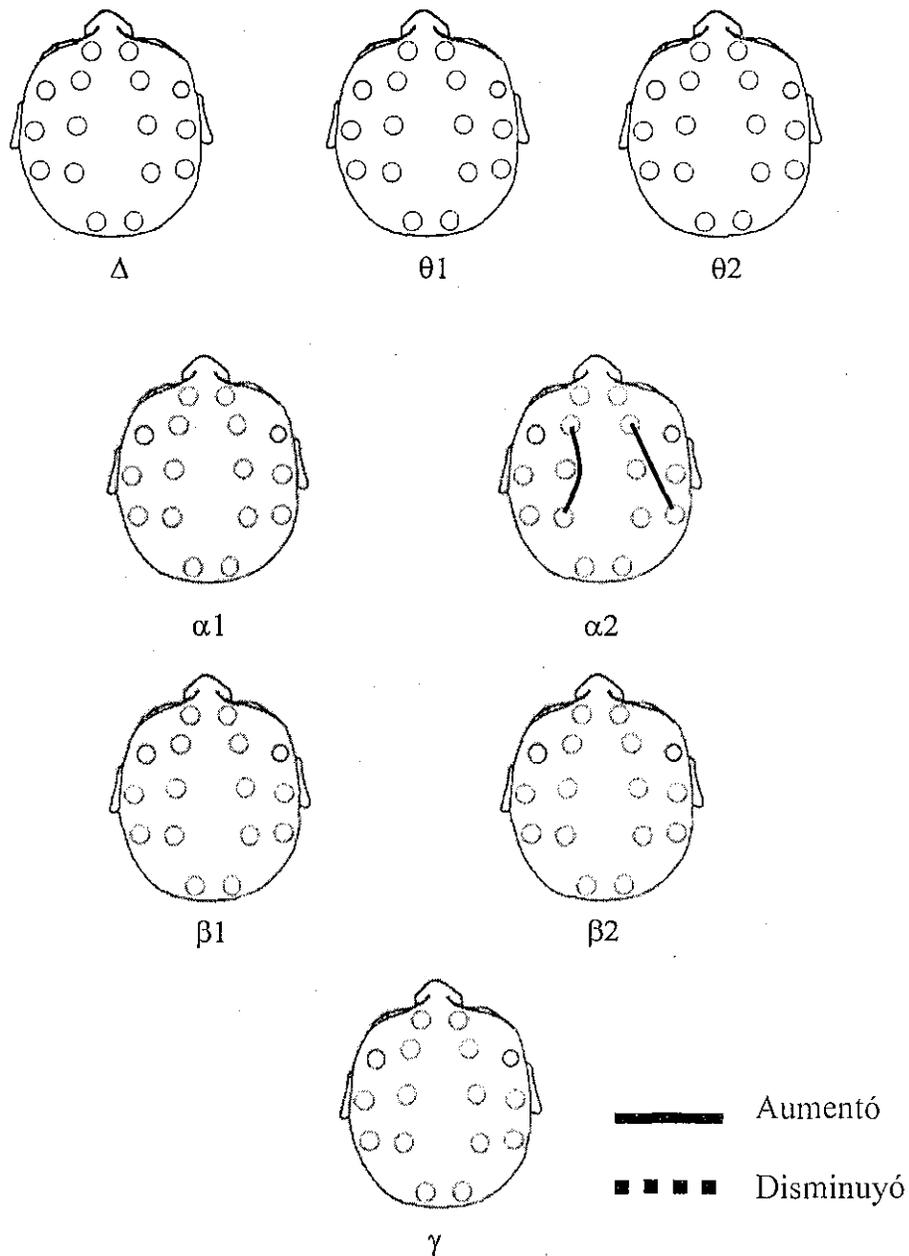


Figura 34. Diferencia de la tarea (T1) menos la condición control (CC) de la Correlación Intrahemisférica, entre la sesión PRE Entrenamiento y la sesión POST entrenamiento, en mujeres, entorno con marcas.

Resumen de resultados

Sesión inicial

Durante la tarea de navegación espacial en la sesión inicial la única diferencia sexual fue que los hombres llegaron más frecuentemente al lugar blanco en comparación a las mujeres en el entorno con marcas. Hombres y mujeres emplearon estrategias mixtas para navegar, basadas en el conteo de calles y ubicación de avenidas y marcas, mayormente.

Respecto al EEG se observaron diferencias por condiciones semejantes en ambos sexos. Se observó mayor PA en T1 en comparación a LB y entre T1 y CC en delta, theta1, beta2 y gamma respectivamente. Disminuyendo la PA de alfa1 y alfa2 en CC y T1 en comparación a LB, en ambos entornos.

También se observó mayor PR en la tarea y CC en comparación a LB en ambos sexos en theta1 y beta2 en el entorno con marcas y sólo en beta2 en el entorno sin marcas. La PR de alfa1 y alfa2 disminuyó durante la realización de la tarea en ambos entornos.

Se observó que durante T1 se incrementó la rTER en alfa1 y gamma en comparación a LB y CC, así como su disminución en delta sólo en el entorno con marcas, en ambos sexos.

En cuanto a las diferencias sexuales se observó que las mujeres tuvieron mayor PA en todas las condiciones en comparación a los hombres en todas las bandas en ambos entornos. Particularmente, en la banda gamma tuvieron mayor PA en T3, T4 y O1 en el entorno con marcas.

Los hombres presentaron mayor PR de delta y theta1 en todas las condiciones en comparación a las mujeres en ambos entornos, en cambio las mujeres mostraron mayor PR de alfa1, alfa2 y beta1 que los hombres en el entorno con marcas, y además de theta2 y beta2 en el entorno sin marcas.

Los hombres presentaron mayor rTER que las mujeres en todas las condiciones en theta1, alfa1, alfa2, beta1, beta2 y gamma en ambos entornos, además de delta en el entorno sin marcas, particularmente entre F3 y F4 en gamma, en el entorno sin marcas.

Los hombres mostraron mayor rTRA en comparación a las mujeres en todas las condiciones, entre la mayoría de las derivaciones en la mayoría de las bandas. Las mujeres sólo mostraron mayor rTRA que los hombres entre FS-FI en delta y theta1.

Los hombres mostraron mayor rTRA que las mujeres en todas las condiciones en el entorno con marcas en el HI en alfa2, beta2, gamma entre FI-PA, en beta1 y beta2 entre FI-CE, en alfa2 entre FI-TP, en alfa1 y alfa2 entre FS-TP, en alfa 2 entre TP-CE. Las mujeres mostraron mayor rTRA en HD entre FI-TP y FI-CE en alfa2, y en menor rTRA que los hombres en HI entre TA-PA en delta, theta1 y 2, y en alfa1 y 2.

Los hombres mostraron mayor rTRA que las mujeres en todas las condiciones en el HI en el entorno sin marcas en beta1 y gamma entre FI-CE, en alfa2, beta2 y gamma entre FI-PA, en alfa1 y alfa2 entre FI-TP, en alfa2 entre FS-TP y en delta y alfa2 entre TA-PA.

Diferencias Pre/Post Entrenamiento

En el desempeño conductual se observaron diferencias entre la sesión inicial y la final de manera semejante en ambos sexos, sólo en el entorno con marcas. Los sujetos llegaron con mayor frecuencia al lugar blanco, disminuyeron la distancia navegada fuera de ruta, realizaron menos vueltas equivocadas, voltearon menos veces buscando el lugar blanco y perdieron menos tiempo para llegar al lugar blanco en comparación a su desempeño en la sesión pre entrenamiento.

En cuanto a las diferencias sexuales en la sesión post entrenamiento únicamente se observó que los hombres realizaron menor tiempo para llegar al objetivo en comparación a las mujeres en el entorno con marcas. Sin embargo, se observó una tendencia a favor de los hombres a una mayor mejoría en la sesión final en comparación a la sesión inicial en el tiempo al navegar, distancia fuera de ruta, veces que voltearon buscando el blanco y empleando rutas directas para llegar al blanco; las mujeres mejoraron sólo en navegar menor distancia fuera de ruta.

Con relación a las estrategias empleadas hombres como mujeres emplearon estrategias mixtas: conteo de calles, ubicación de avenidas, establecimiento de

coordinadas y reconocimiento de marcas en el entorno. La diferencia fundamental entre la sesión inicial y la final fue el empleo de menor cantidad de marcas.

Diferencias en el EEG pre post entrenamiento en el entorno con marcas:

Se observaron cambios entre la sesión pre y post entrenamiento semejantes en cada sexo, fueron que en la sesión post en comparación a la sesión pre disminuyó la PA de delta y alfa1; aumentó la PR de Alfa2 en F8; aumentó la rTER de alfa; aumentó la rTRA de delta entre TA-PA, FS-FI, y de alfa1 en FS-PA; aumentó rTRA en HI de alfa2 entre FS-TP y FS-PA, disminuyó de beta2 entre FS-PA en HI, durante T1 en comparación con CC.

Se observaron diferencias sexuales semejantes en ambas sesiones, durante la realización de la tarea. Los hombres mostraron más rTRA que las mujeres en theta2 en FI-TA; alfa2 en FS-TA; en beta1 y beta 2 en CE-PA; en beta2 en FS-CE.

También se observaron diferencias sexuales durante T1 en la sesión post en comparación a la sesión pre. En las mujeres disminuyó la PR theta1 y aumentó la rTER en theta1 en comparación a los hombres en la sesión final. En los hombres se observó una disminución de la rTER en theta1 y aumentó de la rTRA en theta1 entre FS-CE en comparación a las mujeres en la sesión post.

Se observaron diferencias sexuales entre las sesiones por hemisferios, en las mujeres aumentó rTRA de alfa2 entre FS-PA en HI y entre FS-TP en HD en comparación a los hombres. En los hombres aumentó rTRA de alfa2 entre FS-PA en ambos hemisferios y entre FS-FI disminuyó en HI en beta2 y gamma en comparación a las mujeres.

Diferencias en el EEG pre post entrenamiento en el entorno sin marcas:

Se observaron diferencias entre la sesión pre y post entrenamiento durante la realización de la tarea semejantes en ambos sexos. En la sesión post entrenamiento aumentó la PR de Beta1 y disminuyó de Delta en F8 en comparación a la sesión inicial.

En cuanto a las diferencias sexuales entre las sesiones pre-post entrenamiento se observó que en los hombres aumentó la PR theta2 en el HD en F8 en la sesión post en comparación a las mujeres.

Se observaron diferencias sexuales semejantes en ambas sesiones pre/post entrenamiento. Las mujeres mostraron menor PR en Delta particularmente en T6 en comparación a los hombres. En las mujeres fue mayor la rTER en delta en TP, PA, OC y en theta1 en PA; disminuyó alfa1 en TA y en gamma en PA. Los hombres mostraron mayor rTRA en theta1 en TP-PA y TA-PA en comparación a las mujeres durante la tarea, las mujeres mostraron mayor rTRA en theta2 entre FS-PA y FS-CE en comparación a los hombres. Los hombres presentaron menor rTRA en el HD en gamma entre FS-TP.

Discusión del Experimento 2

Sesión pre entrenamiento

Ejecución conductual y estrategias.

En el presente experimento, a diferencia del experimento 1, no se observaron diferencias sexuales significativas en los indicadores de desempeño de la tarea, a excepción de la frecuencia de llegada al lugar blanco, en la que los hombres tuvieron mayores puntuaciones en el entorno con marcas. Esta falta de diferencias se debe a que los sujetos fueron seleccionados con base en su desempeño en tareas de navegación espacial. La falta de diferencias sexuales en el desempeño coincide con lo señalado por Unterrainer, et al. (2000) en el sentido de que, cuando los grupos son seleccionados con base en su nivel de ejecución en tareas espaciales no se presentan diferencias sexuales.

Igualmente, a diferencia del experimento 1, no se observaron diferencias sexuales en las estrategias de navegación, ambos grupos basaron su navegación en marcas y conteo de calles, con una visualización del entorno a nivel de ruta o en primera persona, organizando la información del entorno con base en la ruta navegada. Esta estrategia ha sido la más empleada por las mujeres. Lawton y Kallai (2002) observaron que las mujeres basan su navegación en las marcas del entorno y Burns (1999) señaló que las mujeres prefieren transitar por rutas conocidas. Sin embargo, el desempeño mostrado por los hombres fue contrario a lo señalado por la mayoría de los estudios sobre navegación espacial. En algunos de ellos (Harrell, et al. 2000; Rahman, et al. 2005; Schmitz, 1999; Saucier, et al. 2002; Glück y Fitting, 2003), se señala que los hombres pueden navegar con base en marcas o conocimiento de ruta, por lo que era de esperarse que emplearan coordenadas o información geométrica del entorno para orientarse. Esto puede deberse a que los hombres fueron seleccionados con base en una menor habilidad para navegar, en comparación a sus pares (por ejemplo, los hombres que participaron en el experimento 1), esto puede llevar a considerarlos como sujetos atípicos por su desempeño y estrategias empleadas durante la navegación.

Se tiene el reporte de hombres homosexuales que prefirieron usar marcas en vez de coordenadas al navegar, tuvieron un desempeño peor al de hombres

heterosexuales, pero mejor al de las mujeres (Rahman, et al. 2005). En cuanto a reportes de las estrategias empleadas por hombres en otras tareas espaciales, se ha observado que por lo general, usan estrategias que son regularmente empleadas por mujeres, asociados a un peor desempeño (Corsi-Cabrera, 1994), lo que se ha referido como un funcionamiento "feminizado" de su cerebro (Arce, 1993).

Actividad eléctrica cerebral en la sesión pre-entrenamiento.

En cuanto a la actividad del EEG se observaron diferencias entre la LB y la condición control (CC) y la tarea (T1) semejantes en ambos sexos. Se observó un incremento de la PA de delta, theta1, beta2 y gamma, así como disminuciones en la PA de alfa1 y alfa2 durante la realización de T1 y CC en comparación a LB.

El incremento en la PA delta durante la realización de tareas se han relacionado con mayores requerimientos de atención interna al realizar tareas (Harmony, et al. 1996), en la toma de decisiones y la atención para la detección de estímulos atenuados (Basar, et al. 1999).

Los resultados obtenidos en la PA de theta1 y alfa1 y alfa2 coincide con lo reportado en diversas investigaciones acerca del incremento en theta y disminución en alfa asociados a la realización de tareas con cierto esfuerzo mental (McLeod y Peacock, 1977; Trotman y Hammond, 1979; Galin, et al. 1982; Osaka, 1984; Davidson, et al. 1990; Roberts y Bell, 2000; Klimesch, et al. 1997; Kahana, et al. 1999a; Kahana, et al. 2001). En estudios de navegación se ha observado el mismo efecto asociado con el esfuerzo mental (De Araujo, et al. 2002; Caplan, et al. 2001; Caplan, et al. 2003), pero en el presente estudio, la disminución de alfa pudiera deberse a la realización de actividad motora, ya que CC sólo implicaba la conducta motora de desplazamiento por el entorno sin ningún objetivo. En este sentido, Doyle, et al. (1974) observaron mayor disminución de alfa cuando la tarea implicaba cierta actividad motora.

La participación de gamma en tareas de procesamiento cognitivo es diversa y aun en debate. Se le ha vinculado a la memoria de trabajo (Howard, et al. 2003), a la codificación de estímulos de manera adecuada ligada a procesos de atención (Sederberg, et al. 2003), a la ejecución de conductas motoras complejas (Crone, et

al. 1998) y con múltiples procesos desde simples a complejos refiriéndola como una banda que responde ubicuamente a cualquier tipo de procesamiento (Schürmann, et al. 1997).

Las únicas bandas con diferencias entre CC y T1 fueron beta2 y gamma, observándose mayor PA en T1 en comparación a CC, sólo en el entorno con marcas. Trabajos en navegación espacial observaron variaciones en la actividad de beta, pero relacionada con actividad motora simple (Caplan, et al. 2003), lo cual no es consistente con el presente trabajo. Classen, et al. (1998) observaron un incremento en la actividad de beta1 y beta2 cuando el sujeto realizaba tareas de coordinación visomotora, en las cuales contaba con retroalimentación visual. Las variaciones en la banda gamma, aún no han sido claramente abordadas, pero para el presente estudio, pudiera ser consistente con la vinculación de mayor actividad de gamma ligada al proceso de memoria de trabajo (Howard, et al. 2003; Gevins, et al. 1998). Probablemente, gamma tenga mayor relación con la intención de mantener en la mente la ubicación del mayor número de marcas posibles, incrementando las demandas de memoria de trabajo de forma significativa para este entorno, en comparación con el entorno sin marcas.

Podría puntualizarse que CC y T1 provocan mayor activación del cerebro durante la realización de las actividades, lo cual parece estar más ligado a aspectos de generación de una respuesta motora que a una acción reflexiva. Las únicas bandas que respondieron a la T1 fueron beta2 y gamma, quizás más asociadas al procesamiento de las marcas, debido a que sólo se presentaron en el entorno con marcas.

Es importante la consideración de que en este estudio, sí se observaron diferencias sexuales en la actividad eléctrica del cerebro, a pesar de que el desempeño conductual de ambos grupos fue semejante. Esto da soporte a la hipótesis que existirían diferencias sexuales en la forma en que el cerebro procesa la información.

En las mujeres se observó mayor PA que en los hombres para todas las bandas en todas las condiciones, situación también reportada por Flor Henry (1980).

Los hombres mostraron mayor PR de delta y theta1 en todas las condiciones en comparación a las mujeres; en cambio éstas mostraron mayor PR de theta2, alfa1, alfa2, beta1 y beta2 en comparación a los hombres. En algunos estudios sobre cambios evolutivos en el EEG en reposo, se observó que hombres adolescentes muestran mayor PR de delta y theta y disminuye esta proporción conforme la edad avanza, paralelamente la PR de beta1 se va incrementando (Matousek y Petersen, 1973; Harmony, et al. 1990). Por lo tanto, mayor PR de delta y theta1 en vez de beta pudiera relacionarse con cierto grado de inmadurez en la actividad de EEG en los hombres seleccionados, ya que como se mencionó son sujetos atípicos por sus limitaciones en sus habilidades para navegar, aunque no mostraron diferencias en el nivel de inteligencia general.

Los hombres mostraron mayor correlación interhemisférica (rTER) en todas las bandas. Este patrón de mayor rTER sólo se ha observado cuando los hombres tienen poca habilidad espacial o bien cuando cometen errores en tareas espaciales (Gutiérrez y Corsi-Cabrera, 1988; Ramos, et al. 1993; Corsi-Cabrera, 1994; Unterrainer, et al. 2000). De la misma manera, los hombres mostraron mayor correlación intrahemisférica (rTRA) entre la mayoría de las derivaciones y en la mayoría de las bandas, mientras que las mujeres sólo mostraron mayor rTRA entre las derivaciones frontales superiores (FS) e inferiores (FI) en delta, theta1 y theta2 y además, entre frontal inferior y temporal anterior (TA) en la banda delta.

Puntualizando, se podría señalar que las mujeres presentan mayor PA, sin embargo los hombres presentan mayor PR de las bandas lentas y mayor rTER y rTRA en todas las bandas, debido a que el grupo de hombres es de características atípicas por sus limitaciones en sus habilidades para navegar, presentando un funcionamiento hemisférico menos especializado que el común de los hombres. Como lo apuntó Arce (1993), las diferencias en el funcionamiento cerebral de sujetos con pocas habilidades espaciales con respecto de sujetos hábiles espacialmente están presentes desde la línea base (LB).

La única diferencia sexual por condiciones fue que las mujeres presentaron mayor PA de gamma durante la T1 en las derivaciones T3, T4 y O1 en el entorno con marcas en comparación a los hombres. Gevins, et al. (1999) observaron

incrementos en la actividad de gamma en las regiones frontales, temporales y occipitales al incrementar las demandas en tareas de memoria de trabajo. Howard, et al. (2003) también observaron incrementos en gamma asociados a la realización de tareas de memoria de trabajo y procesamiento de información perceptual. Lo cual pudiera estar relacionado con el hecho de que las mujeres para navegar emplean una estrategia de conocimiento de ruta apoyado en las marcas del entorno, incrementando con ello, la demanda de procesos de memoria de trabajo al intentar mantener en mente la ruta seguida (Shelton y Gabrieli, 2002; 2004).

Diferencias Pre-Post-entrenamiento.

Ejecución conductual y estrategias de navegación.

En cuanto al desempeño conductual y las estrategias empleadas para hacer la tarea posterior al entrenamiento, se pudo sustentar la hipótesis de que el entrenamiento ayudaría a mejorar la ejecución en la tarea. Sin embargo, los cambios significativos sólo fueron en el entorno con marcas y estas mejorías fueron mayores para los hombres, las mujeres sólo mejoraron al navegar menor distancia fuera de ruta.

Se puede considerar que a pesar del entrenamiento, las mujeres no logran alcanzar el desempeño de los hombres en habilidades espaciales, y si lo logran en el entorno sin marcas, pudiera estar asociado a un efecto de techo. Estudios en los cuáles entrenan a hombres y mujeres en habilidades espaciales también han observado que las mujeres mejoran su ejecución, pero no alcanzan los niveles de los hombres (Orsini, et al. 1982; Vasta, et al. 1996; Lawton y Morrin, 1999). En el presente estudio, se pudiera suponer que los hombres mejoraron más, debido a que la estrategia favorecida en el entrenamiento fue más afín con su forma "natural" de procesar información del entorno.

Con relación a las estrategias empleadas tanto hombres como mujeres emplearon estrategias mixtas: conteo de calles, ubicación de avenidas, reconocimiento de marcas en el entorno y algunos sujetos el establecimiento de coordenadas. La diferencia fundamental entre la sesión inicial y la final fue el empleo de una menor cantidad de marcas.

El entrenamiento, propició la focalización de la atención en pocos elementos del entorno, dejando de considerar la ubicación de tantas marcas como fuera posible. La facilitación de la atención mediante el entrenamiento, focaliza y reduce el esfuerzo mental de los sujetos, ya que seleccionan los elementos del entorno a procesar, lo cual se ha visto que facilita el funcionamiento de los procesos atentos (Awh y Jonides, 2001), logrando una representación del entorno más sencilla y más útil para navegar (Cubukcu, 2003), así como una manera rápida de organizar la información (Montello, et al. 1999; Montello, 2001).

En cuanto a la hipótesis que proponía cambios en la actividad eléctrica del cerebro como consecuencia del entrenamiento, se pudo comprobar. Pero un aspecto relevante es que estos cambios dependen tanto del entorno en el cual se realizaba la tarea como del sexo de los sujetos.

Actividad Eléctrica Cerebral durante la tarea en el entorno sin marcas.

Se observaron cambios en el EEG semejantes en ambos sexos, en la sesión post-entrenamiento. La PR de beta1 mostró un incremento que pudiera estar asociado a un incremento en la actividad mental en general y por otra parte, se observó una disminución de la rTRA en alfa1 entre regiones centrales y parietales del hemisferio derecho (HD) que pudiera reflejar una mayor asociación en la relación de estas áreas durante el procesamiento de información.

Se observaron diferencias sexuales en el EEG constantes en ambas sesiones. Los hombres mostraron mayor rTRA en theta1 entre temporales anteriores posteriores y regiones parietales y las mujeres mostraron mayor rTRA en theta2 entre frontales y áreas centrales y parietales. Estos resultados coinciden con lo referido por Grön, et al. (2000), en el sentido de que los hombres involucran más una red que incluye la región posterior del cíngulo, parahipocampo e hipocampo, lo cual se pudiera relacionar con la actividad theta1 observada en los hombres en el presente estudio, ya que se conoce que la región del parahipocampo e hipocampo son estructuras generadoras de ritmo theta y se encuentra relacionados estructuralmente con la corteza parietal. Por otro lado, las mujeres en el citado

estudio, activan una red que incluye las regiones frontal superior y medial derecha, el prefrontal derecho y la región parietal derecha. Las semejanzas entre el presente estudio y el realizado por Grön, et al. (2000) son importantes. En su estudio, usaron como entorno, un laberinto virtual con intersecciones de forma de T, con vista en primera persona, usando para desplazarse el teclado y presentaron la imagen en lentes de realidad virtual. Estos autores consideraron que la manera de enfrentar la tarea por los hombres implica el empleo de información de la estructura del espacio, para lo cual se activa el hipocampo, el procesamiento de rutas y lugares para lo cual se emplea el parahipocampo, así como una representación egocéntrica del espacio la cual activa la región parietal. En el caso de las mujeres la estrategia empleada podría basarse más en una representación egocéntrica del espacio, para lo cual se activa la región parietal por realizarse la navegación en primera persona o a nivel de piso, así como por los esfuerzos de mantener en la memoria de trabajo la representación del entorno para lo cual, se vinculan la región parietal con los lóbulos frontales. Aportando en este sentido, Shelton y Gabrieli (2002) observaron que la visualización aérea del entorno requería de una red más temporo-parietal, en cambio una visualización en primera persona activaba una red parieto-frontal, por lo que pudiera pensarse que los hombres en el entorno sin marcas, usaron más una estrategia de visualización aérea del entorno, en tanto las mujeres lo imaginaron como recorriéndolo en primera persona. A su vez, algunos autores (Curtis y D'Esposito, 2003), observaron la activación de una red neural entre la región parietal y frontal al realizar tareas de memoria de trabajo y con atención selectiva. Bohbot, et al. (2004) señalaron la posibilidad de contar con dos estrategias para navegar en un laberinto virtual enclavado en un paraje con marcas, observaron el uso de una estrategia basada en la ubicación de marcas en el entorno, la cual activaba la región hipocámpal y otra estrategia basada en recordar la secuencia de vueltas en el laberinto la cual activaba el núcleo caudado. Estos hallazgos en estudios de imagen coinciden con lo observado en estudios de electrofisiología, en el sentido de que al realizar tareas que pudieran implicar memoria de trabajo y atención selectiva, particularmente tareas espaciales, se genera actividad theta en la región parietal y

frontal (Gevins, et al. 1998; Gevins y Smith, 2001; Rugg y Dickens, 1982; Anokhin, et al. 1999; Raghavachari, et al. 2001; Sauseng, et al. 2005).

Otra diferencia sexual observada durante la realización de la tarea en ambas sesiones fue que en las mujeres fue mayor la rTER en theta1 entre los parietales y en delta entre temporales posteriores, parietales y occipitales; y fue menor en alfa1 entre temporal anterior y en gamma en parietales. Arce, et al. (1995), Corsi-Cabrera (1993) Rescher y Rappelsberger. (1999) observaron mayor rTER en las mujeres en comparación a los hombres en las regiones posteriores de la corteza cerebral al realizar diversas tareas. Cuando las mujeres presentan este patrón de actividad cerebral, es decir, con mayor rTER su desempeño en diferentes tareas es eficiente (Corsi-Cabrera, 1994). Esta mayor actividad coherente entre los hemisferios ha sido reportada en diversos rangos de frecuencia (alfa, beta, theta). En una tarea de navegación espacial en un laberinto de lápiz y papel, Van Horn, et al. (1998) observaron en un grupo de mujeres que se incrementaba la actividad en la región parietal de ambos hemisferios después de recibir un entrenamiento para poder realizar la tarea. Es de particular importancia el estudio realizado por Sauseng, et al. (2005) en el cual un grupo de mujeres al realizar una tarea de memoria visual incrementaba la interconectividad en la región posterior en la banda theta1.

Los hombres, por su parte, presentaron menor rTRA en el HD en gamma entre frontales y temporales posteriores, en este sentido se podría considerar este cambio como un indicador de menor demanda en la memoria de trabajo (Gevins, et al. 1999), lo cual podría llevar a pensar que los hombres requieren menor memoria de trabajo al realizar la tarea, por el tipo de estrategia usada para navegar.

Puntualizando, se podría referir que las mujeres para realizar la tarea de navegación en el entorno sin marcas activaron una red neural de procesamiento ejecutivo, con mayores demandas de memoria de trabajo y atención voluntaria, en tanto que los hombres activaron una red de procesamiento de información espacial, con menores requerimientos de procesamiento ejecutivo en atención y memoria de trabajo, por ser una actividad más "natural". La red neural activada por las mujeres es bilateral, en tanto en los hombres es más hemisféricamente especializada.

En cuanto a las diferencias sexuales en el desarrollo de habilidades de navegación espacial, en la sesión post-entrenamiento se observó que: en los hombres disminuyó la PR de delta y disminuyó la rTRA en delta entre frontales y temporales y entre temporales anteriores y posteriores y aumentó la rTRA en estas derivaciones en las mujeres, con ello, se disminuyeron las diferencias sexuales presentadas en la sesión preentrenamiento. Como ya se había referido, delta se relaciona con tomar decisiones y estar atento a detectar un estímulo débil (Basar, et al.1999) y a procesamientos internos (Harmony, et al. 1996), lo que pudiera relacionarse con una menor necesidad de los hombres a emplear controles internos durante la realización de la tarea, en tanto que para las mujeres es en el sentido opuesto.

También se observó en los hombres un aumentó de la PR de theta2 en el HD, particularmente en F8. Rugg y Dickens (1982) observaron que los hombres con buena ejecución en tareas espaciales incrementaban la PA en el hemisferio derecho en comparación con aquellos que no realizaban bien la tarea, lo cual pudiera ser un indicador de buena ejecución en los hombres. Además, la participación de los lóbulos frontales se ha asociado a demandas en la memoria de trabajo (Raghavachari, et al. 2001; Gevins, et al. 1998; Sederbberg, et al. 2003; Mellet, et al. 2000), procesos de evocación estratégica (Burgess, et al. 2001), así como con demandas de atención en general, particularmente para la región frontal derecha (Unterrainer, et al. 2000).

Los cambios generados en la actividad eléctrica cerebral por el entrenamiento particularmente en los hombres apuntan en dirección a que dicho entrenamiento permitió a los hombres realizar la tarea con menor esfuerzo en términos generales y con un mejor funcionamiento cerebral. Para el caso de las mujeres, les permitió un mejor uso de los recursos ejecutivos para realizar la tarea al saturar menos la memoria de trabajo y poner atención en menor número de elementos del entorno, simplificándola, pero en otro sentido en comparación a los hombres.

Actividad Eléctrica Cerebral durante la tarea en el entorno con marcas.

Se observaron cambios en ambos sexos producto del entrenamiento. Se observó una disminución de la PA de delta y alfa1, pero aumentó la rTRA en delta entre temporales anteriores y parietales y entre frontales superiores e inferiores y en alfa1 entre frontales y parietales, un aumento de la rTER en delta y disminución en beta1. Los incrementos en la PA de delta y alfa1 se han asociado a deficiencias neurológicas, así como mal desempeño de los sujetos al realizar las tareas, en este sentido se podría considerar las reducciones en la PA de estas bandas como indicadores de buen funcionamiento cerebral durante la realización de la tarea (Arce, 1993). Como se ha mencionado la actividad delta se ha asociado con mayor atención interna y toma de decisiones, su disminución pudiera relacionarse con menor atención interna, pero su incremento en la rTRA y en rTER no se ha referido previamente, así como la disminución de beta1. La disminución en alfa1 se ha asociado con buen funcionamiento cognitivo y mayor esfuerzo mental, pero su incremento en la rTRA entre frontales y parietales pudiera relacionarse más con esfuerzos atentos, así como con procesos inhibitorios (Harmony, et al. 2005).

Se observaron algunas diferencias sexuales en el EEG constantes tanto en la sesión pre como post-entrenamiento durante la realización de la tarea. Los hombres mostraron más rTRA en theta2 entre frontal inferior y temporal anterior; alfa2 en FS-TA; en beta1 y beta 2 en CE-PA; en beta2 en FS-CE. Siguiendo la idea de Basar, et al. (1999) en torno a una distribución espacial selectiva de las frecuencia de actividad eléctrica del cerebro, pudiera relacionarse la integración de dos circuitos neurales o dos momentos en el mismo circuito. Por un lado, un circuito temporal-frontal, ligado a la actividad del hipocampo y el parahipocampo y su relación con las funciones ejecutivas en los lóbulos frontales, en theta2 y alfa 2. Anokhin, et al. (1999) observaron incrementos en la coherencia fronto-temporal ligado a mayores habilidades cognitivas durante tareas espaciales. La actividad theta ligada a la codificación de nueva información a través de una integración cortico-hipocampal (Klimesch, 1999) o bien a la evocación de marcas correctas en el entorno, en este sentido Sederberg, et al. (2003) señalaron la presencia de incrementos en las oscilaciones de theta durante la correcta evocación de palabras en una tarea de memoria verbal. Si bien cabe señalar que otros estudios han observado mayor

actividad coherente entre la región parietal y frontal al realizar tareas espaciales en la banda theta, en vez de una integración entre regiones temporales y frontales (Rugg y Dickens, 1982; Gevins y Smith, 2001). La mayor actividad coherente en la banda alfa2 se ha vinculado a la reactivación de huellas mnémicas (Klimesch, et al.1998), o bien vinculada a una mayor cantidad de esfuerzos inhibitorios en los procesos de evocación de elementos (Sauseng, et al.2005). Por otro lado, otro circuito frontal-parietal vinculado a la actividad en las bandas beta1 y beta2. Brovelli, et al. (2004) observaron incrementos en la sincronización de las regiones parietales con las centrales en macacos durante tareas que implicaban la coordinación de movimientos con información sensoriomotora a manera de retroalimentación. Classen, et al. (1998) observaron incrementos en la coherencia en las bandas beta1 y beta2 entre las regiones frontales y occipitales al entrenar sujetos en coordinación visuo-motora, más que al percibir estímulos, realizar actividad motora sin retroalimentación visual o al realizar actividad motora simple.

Estos dos circuitos pudieran estar actuando de manera integrada en los hombres ante la presencia de marcas en el entorno y la necesidad de una mayor coordinación motriz a partir de la información sensorial obtenida al navegar. Los datos coinciden con lo observado por Grön, et al. (2000) en torno a la participación de las estructuras frontales y temporales relacionada con el reconocimiento de marcas en los hombres al realizar tareas de navegación espacial en un entorno virtual.

Otra diferencia sexual en ambas sesiones fue una mayor rTER en la banda beta2 en las mujeres en las regiones posteriores y mayor rTER en los hombres en las regiones anteriores en la misma banda. Esta situación también fue reportada por Arce, et al. (1995) en cuanto a observar mayor correlación interhemisférica en las mujeres por el menor grado de diferenciación hemisférica y por tender a realizar un procesamiento en ambos hemisferios de la información visual. De manera semejante Rescher y Rappelsberger (1999) observaron mayor actividad coherente interhemisférica en mujeres en las bandas de beta al realizar una tarea de rotación mental. La actividad interhemisférica en beta fue relacionada por von Stein, et al. (1999) con la presentación pictórica de un objeto en comparación con la

presentación de la palabra que le denominaba. Sin embargo, no se tienen reportes de mayor rTER en beta2 en hombres, salvo en los casos que estos tuvieran errores en la realización de las tareas (Corsi-Cabrera, et al.1989a; Corsi-Cabrera, 1994).

En la sesión final se observó en las mujeres una disminución de la PR de theta1. Esta disminución pudiera ser consecuencia del entrenamiento al requerir menor atención al realizar la tarea al considerar menos marcas del entorno para guiar su navegación y por consecuencia menor demanda de memoria de trabajo. Gevins, et al. (1998) y Raghavachari, et al. (2001) observaron incrementos en theta en las regiones frontales al aumentar las demandas de memoria de trabajo de la tarea. Gevins y Smith (2001) observaron que los sujetos con alto puntaje en el WAIS-R activaban en menor proporción las regiones frontales, activando además las regiones parietales en espacial del hemisferio derecho, durante su EEG en reposo. En los estudios realizados de navegación espacial, se han observado incrementos en la actividad theta cuando el entorno era más largo y complicado (Kahana, et al. 1999b; Caplan, et al.2001) o bien cuando el sujeto debía evocar información para recorrer el laberinto (Bischof y Boulanger, 2003). Evidencias en contra a los incrementos de theta por los esfuerzos de memoria episódica fue propuesta por De Araujo, et al. (2002) ya que observaron que theta sólo se incrementaba en las tareas que implicaban la navegación, probaron con una tarea que implicaba memoria episódica la cual no provocó incrementos en la actividad de theta.

También se observó en las mujeres el aumentó de la rTER en theta1 y en los hombres su disminución. Con este cambio, la actividad eléctrica cerebral de los hombres durante la tarea semejó más a lo esperado para un grupo de hombres típicos, con una mayor especialización hemisférica y en cambio las mujeres enfrentar la tarea con mayor participación de ambos hemisferios. Este tipo de comportamiento más lateralizado en los hombres se ha asociado con mejor desempeño en las tareas espaciales (Corsi-Cabrera, et al.1989a, Corsi-Cabrera, 1994). Por otro lado, los cambios en la actividad eléctrica de las mujeres en la banda theta1 generan un comportamiento reportado en otros estudios en torno a la mayor participación bilateral al realizar tareas espaciales y en condiciones de reposo (Rescher y

Rappelsberger, 1999) y especialmente cuando las mujeres realizaban correctamente tareas espaciales (Corsi-Cabrera, et al.1989a).

Otro cambio más fue que en la sesión post entrenamiento en los hombres aumentó la rTRA en theta1 FS-CE. Este incremento pudiera estar vinculado con diferentes procesos. Se ha relacionado con alertamiento y preparación al movimiento (Basar, et al.1999), atención focalizada hacia el interior (Aftanas y Golocheikine, 2001; Coromaldi y Stadler 2004) incrementos en las demandas de memoria de trabajo ligado a un proceso atención (Gevins, et al.1998), evocación de elementos (Sederberg, et al. 2003; Klimesch, et al. 2005) incrementos en la dificultad de la tarea (Sauseng, et al.2005; Kahana, et al. 2001; Kahana, et al. 1999b; Caplan, et al. 2001), coordinación de elementos sensorio-motores que facilitan la exploración y la planeación de la navegación (Caplan, et al. 2003; De Araujo, et al. 2002) y con procesos de almacenamiento y evocación de información espacial (Bischof y Boulanger, 2003). Sin embargo, se podría suponer que este incremento en la rTRA en la banda theta1 pudiera estar asociado con la atención necesaria para realizar la tarea y la coordinación de elementos sensorio-motores que facilitan la exploración. Curtis y D'Esposito (2003) señalan que la región frontal dorsolateral pudiera estar involucrada en mantener información mediante la dirección de la atención a representaciones interna de estímulos sensoriales y planes motores que son almacenados en regiones posteriores del cortex.

Continuando con las diferencias sexuales en el desarrollo de habilidades de navegación espacial se observó que en las mujeres aumentó rTRA en alfa2 entre FS-PA en el Hemisferio Izquierdo (HI) y entre FS-TP en Hemisferio Derecho y para los hombres aumentó rTRA en alfa2 entre FS-PA en ambos hemisferios. Jausovec y Jausovec (2000) asociaron el incremento de la sincronización de alfa2 a los intentos por resolver problemas de mayor creatividad. Klimesch, et al. (1998) han relacionado estos incrementos con procesos de búsqueda y recuperación de elementos en la memoria de largo plazo. Sin embargo, la explicación más plausible para los presentes resultados es la propuesta por Sauseng, et al. (2005) quienes indicaron que los incrementos en la coherencia de alfa2 pudieran relacionarse con esfuerzos inhibitorios en procesos de evocación, ya que el entrenamiento propiciaba que los

sujetos prestaran menor atención a las marcas del entorno y les pudo implicar esfuerzos inhibitorios por no considerar las marcas para navegar, particularmente por la participación de los lóbulos frontales.

Una de las diferencias sexuales más observadas fue el que en los hombres disminuyó la rTRA entre FS-FI del HI en las bandas beta2 y gamma. En este sentido diversos estudios han considerado que el buen desempeño de los sujetos en tareas espaciales implica una menor participación del frontal derecho, y menor actividad en los lóbulos frontales se pudiera relacionar con menor demanda cognitiva en la tarea. Shelton, et al. (2004) señalan que la menor participación de los frontales en tareas de rotación mental se debe a que la tarea requiere menor atención o menor memoria de trabajo.

En resumen podría señalarse que la tarea de navegación espacial activo dos redes neurales una temporo frontal y otra fronto parietal. La primera más ligada al procesamiento de información espacial y la segunda ligada a procesos ejecutivos. El entrenamiento provoca un mejor uso de los recursos ejecutivos en términos generales, facilitando la tarea al no saturar la memoria de trabajo y enfocar la atención en pocos aspectos del entorno.

A su vez se podría suponer que el entorno con marcas impone mayor acopió de recursos ejecutivos, en comparación al entorno sin marcas, provocando en ambos grupos de sujetos mayor participación frontal, probablemente involucrada en procesos inhibitorios en torno a la selección de la información del entorno necesaria para la navegación, mantenerla en memoria de trabajo. También, se fortalece la idea que las mujeres para realizar tareas de navegación espacial requieren la participación de ambos hemisferios, en tanto que los hombres realizan la tarea de manera especializada, sea de manera analítica o global.

Discusión general

Con base en los resultados del primer experimento se podría establecer que existen diferencias sexuales a favor de los hombres en la ejecución, apoyadas en las estrategias que emplean durante la realización de tareas de navegación espacial en entornos virtuales urbanos desconocidos.

Las diferencias sexuales pudieron haber sido magnificadas por algunos aspectos de índole metodológica: por usar un entorno desconocido, ya que las mujeres ejecutan mejor cuando conocen bien el entorno (Kirasic, et al. 1984; Dogu y Erkip, 2000); así como por dar un tiempo limitado para realizar las tareas y enfatizar la precisión y rapidez en su realización (Voyer, et al. 1995) o bien como lo señala Montello, et al. (1999) los hombres son más rápidos para organizar el conocimiento de un entorno novedoso, por lo cual están más rápidamente aptos para navegar en él en comparación a las mujeres.

Cabe destacar que estas diferencias sexuales no son atribuibles a los dispositivos empleados para el desplazamiento (el teclado) y para desplegar la imagen (lentes de realidad virtual), como se ha reportado en otros estudios en realidad virtual (Waller, 2000; Waller, et al. 2001; Allahyar y Hunt, 2003; Tan, et al. 2003; Czerwinski, et al. 2002).

Se mostró que los estados emocionales influyen en el desempeño de ambos sexos. Siendo que los hombres se mostraron más seguros y confiados de realizar la tarea correctamente, en tanto las mujeres se muestran más ansiosas y temerosas, como lo han señalado otros autores (Lawton, 1996; Lawton y Kallai, 2002; Maguire, et al. 1999; Schmitz, 1999). Sin embargo, los estados emocionales de las mujeres fueron más negativos durante la navegación en el entorno sin marcas pero la ejecución fue mejor en él, lo cual debilita la importancia de esta idea como la principal causa de las diferencias sexuales.

En este sentido la principal variable que podría explicar las diferencias en el desempeño en la ejecución entre hombres y mujeres son las estrategias empleadas por unos y otros para navegar. Los hombres emplean más una navegación con coordenadas, apoyada en marcas y conteo de calles, con una visualización del entorno como croquis o global. En cambio, las mujeres emplean una estrategia de marcas, apoyada en el conteo de calles, con una visualización del entorno en primera persona. Diversos autores han observado esta misma situación (Sakthivel, et al. 1999; Sandstrom, et al. 1998; Grön, et al. 2000). No se tienen reportes de investigaciones sobre diferencias sexuales en las cuales se haya considerado la manera en la cual los sujetos visualizaban el entorno, si bien en los estudios de

navegación espacial se ha hecho referencia a la posibilidad de dos formas de representación del entorno, una egocéntrica y otra exocéntrica (Satalich, 1995; Montello, 2001; Saucier, et al. 2002). Sin embargo se pudiera pensar, que como lo señala Montello, et al. (1999) los hombres tienen más habilidades para generar una representación más precisa del entorno con menor exposición a este, lo cual pudiera estar relacionado con los datos observados en el presente estudio. Cubukcu (2003) observó que los sujetos que pueden navegar con más facilidad son aquellos que forman una representación simplificada del entorno, en vez de una representación más realista del mismo, lo cual pudiera estar relacionado con las diferencias sexuales observadas. Las mujeres tienden a representaciones más realistas del entorno, por lo cual les demanda más tiempo la formación de un mapa cognitivo del mismo complicando más la tarea cuando el entorno tiene marcas y es desconocido, en cambio los hombres hacen representaciones más simplificadas del entorno no entendiendo a tantas marcas.

La mejor ejecución de las mujeres en el entorno sin marcas, pudiera estar relacionado con lo antes mencionado, en el sentido, que el entorno sin marcas provee menor información que analizar y mantener en memoria, lo cual permite a las mujeres en focalizar su atención en el conteo de calles, vez de memorizar tantas marcas consideran importantes, basando su navegación en secuencias de vueltas de derecha-izquierda y el número de cuadras navegadas, "obligándoles" a realizar una representación más sencilla del entorno.

Conclusiones

A manera de conclusión podría suponerse que las estrategias de navegación de los hombres les permiten hacer la representación mental del entorno con mayor rapidez, menor esfuerzo por centrar su atención en aspectos más generales del entorno y no en marcas particulares, construyendo una representación abstracta y simplificada del entorno. Las mujeres en cambio, sus estrategias, les demandan más tiempo y más esfuerzos de atención y memoria, dificultando la navegación en entornos desconocidos, ya que forma representaciones realistas y detalladas del entorno.

Con base en los resultados del segundo experimento podría establecer que no existen diferencias sexuales significativas en la ejecución conductual en el desarrollo de habilidades de navegación espacial en entornos virtuales desconocidos después de recibir un entrenamiento. Aunque si bien se muestran tendencias que los hombres se beneficiaron más y ejecutaron mejor que las mujeres por recibir el entrenamiento.

Diversos estudios han señalado que a pesar de entrenar en habilidades espaciales a grupos de hombres y mujeres, estas últimas no alcanzan el desempeño logrado por los hombres (Orsini, et al. 1982; Vasta, et al. 1996; Lawton y Morrin, 1999). Esto pudiera ser por una mayor facilidad de los hombres para emplear la estrategia de coordenadas (que fue la promovida por el entrenamiento) que las mujeres, así como a prescindir de las marcas con mayor facilidad que las mujeres, aunque las explicaciones a esto distan de ser concluyentes (Pearson y Ferguson, 1989; Schmitz, 1999; Rahman, et al. 2005; Kitchin, 1996; Brown, et al. 1998; Glück y Fitting, 2003; Montello, et al. 1999).

A su vez se observaron diferencias sexuales en la actividad eléctrica del cerebro durante las tareas de navegación espacial en ambos entornos, antes y después del entrenamiento.

Las diferencias sexuales antes del entrenamiento se basaron en una mayor correlación interhemisférica e intrahemisférica en la mayoría de las derivaciones en la mayoría de las bandas a favor de los hombres. Sin embargo habría que matizar estos resultados en razón que la muestra seleccionada de hombres y mujeres fue con características similares en su desempeño y estrategias de navegación. Diversos autores han observado este tipo de actividad cerebral en los sujetos cuando se equivocaban (Gutiérrez y Corsi-Cabrera, 1988; Ramos, et al. 1993; Corsi-Cabrera, 1994; Arce, 1993).

Las diferencias sexuales después del entrenamiento pudieran estar correlacionadas con las áreas del cerebro implicadas en la navegación espacial para cada sexo, ya que los efectos del entrenamiento fueron diferentes para hombres y mujeres, así como diferentes dependiendo de las características del entorno.

El entrenamiento en los hombres provocó mayor especialización hemisférica derecha, incrementando la correlación intrahemisférica, lo cual sería lo esperado en hombres con buenas habilidades espaciales. En tanto, en las mujeres efecto fue de mayor correlación interhemisférica y mayor actividad del hemisferio izquierdo quizás asociada al uso de una estrategia verbal ante una tarea espacial, mediante el conteo de cuadras y menor necesidad de recordar marcas del entorno.

Las mujeres mejoran en su desempeño en las tareas por realizar un esfuerzo mental más eficiente en un sentido general, haciendo un mejor uso de los recursos disponibles, usando mayor verbalización para enfrentar la tarea, reduciendo los requerimientos en la memoria de trabajo al poner menos atención a las marcas y más al conteo de calles. En un entrenamiento en una tarea de rotación mental las mujeres mejoraron su desempeño con la retroalimentación de su ejecución, a diferencia aquellas que sólo contaron con un instructivo (Kass, et al. 1998), lo cual haría suponer que las mujeres enfrentan y mejoran en las tareas espaciales por los recursos ejecutivos generales empleados en ellas.

Los hombres, después del entrenamiento, emplearon estrategias más de conocimiento global y visualización área o como mapa, así como conteo de calles para hacer la tarea, implicando con ello un cambio en la estrategia inicial, si bien conservan la atención a las marcas del entorno, pero en menor número generando una representación más sencillas del entorno (Montello, et al. 1999), ya que se ha observado que los hombres ejecutan peor en tareas que implican las memorizan de objetos en un espacio (Montello, et al. 1999).

Con relación a la hipótesis que ambos grupos tendría más rTER se observó que los hombres tuvieron más rTER que las mujeres, también un resultado inesperado, si bien se ha reportado que los hombres cuando tienen pocas habilidades espaciales o responden equivocadamente a tareas espaciales presentan más rTER que los hombres hábiles o cuando responden correctamente, pero no mayor correlación rTER que las mujeres (Gutiérrez y Corsi-Cabrera, 1988; Ramos, et al. 1993; Corsi-Cabrera, 1994; Arce, 1993; Corsi-Cabrera, et al. 1988; Corsi-Cabrera, et al. 1997).

Se comprobó la hipótesis sobre el efecto del entrenamiento en la actividad eléctrica del cerebro, pero los cambios observados fueron diferentes en cada uno de los entornos.

En el entorno con marcas los cambios en los hombres apuntan a una mayor especialización del HD en los hombres con incremento de la participación de la línea fronto-parietal al realizar las tareas por focalizar más la atención. Las mujeres por su lado, los cambios presentados pudieran asociarse a menor requerimiento de atención general, pero más focalizados, con apoyo de elementos verbales mnémicos procesados en el HI y visuales en el HD, así como con una mayor integración funcional de ambos hemisferios.

En el entorno sin marcas, en los hombres los cambios se podrían relacionar con menor esfuerzo de control interno de los sujetos al observar el entorno por las disminuciones en delta, pero de una facilitación de la atención o mayor participación de la región hipocampal. En las mujeres los cambios pudieran explicarse por una mayor integración funcional entre ambos hemisferios por el uso de estrategias verbales y espaciales para enfrentar la tarea, y una mayor vigilancia de los procesos internos durante la tarea.

Se observaron diferencias sexuales las cuales fueron constantes en la ejecución de ambos entornos. Los hombres mostraron más rTRA de theta2 en FI-TA; alfa2 en FS-TA; en beta1 y beta 2 en CE-PA; en beta2 en FS-CE, en ambas sesiones. Lo cual pudiera relacionarse con mayor participación de la región temporal en la codificación del entorno y las diferencias en beta asociadas a mayor eficiencia en la coordinación motora con el teclado y la navegación por ende. Las mujeres mostraron mayor rTER en beta2 en las derivaciones posteriores estas diferencias han sido asociadas con una menor especialización hemisférica en el procesamiento de estímulos visuales por las mujeres.

Así vez también se observaron diferencias sexuales constantes en ambas sesiones. Los hombres indicativos de una mayor participación del hipocampo y el parahipocampo en la tarea. Las mujeres por su lado, pudiera asociarse a un mayor control ejecutivo general en la tarea, apoyado en memoria de trabajo y atención selectiva.

Las diferentes áreas del cerebro involucradas en las tareas de navegación espacial estarían relacionadas con las estrategias preferidas por hombres y por mujeres. Los hombres al preferir una estrategia de representación abstracta del entorno, con visualización área del entorno involucran más las regiones parieto-temporales, las cuales se pueden ver complementadas con una red fronto-parietal en caso de requerir mayor control ejecutivo con en entornos con mayor información. Las mujeres al preferir la estrategia de una representación más realista del entorno involucran más la vía fronto-parietal bilateral ligada al control ejecutivo, la cual se vio facilitada por el entrenamiento al focalizar la atención.

Relevancia estudio

El presente trabajo aporta al conocimiento de las diferencias sexuales en las habilidades de navegación espacial, fortaleciendo el hecho que estas si existen y están relacionadas con las estrategias empleadas para hacer la tarea, pero además apoyadas en un mecanismo biológico de fondo que facilita el empleo de la estrategia de coordenadas en los hombres y estrategias mixtas con mayor control ejecutivo en las mujeres.

Confirma los hallazgos de los estudios apoyados en técnicas de imagen sobre las redes neurales implicadas en la navegación reconociendo la existencia de dos vías: una vía parieto-hipocampal y otra parieto-frontal. Así como la activación diferenciada por el tipo de estrategia empleada para enfrentar la tarea y por las características del entorno.

Permite generar pistas sobre los apoyos empleados para la navegación en los entornos urbanos, fortaleciendo el conocimiento que los entornos saturados de información (sean ayuda o no) son más complicados.

El empleo de dispositivos de realidad virtual puede ser útil para explorar las estrategias empleadas en diferentes tareas en las cuales se han visto diferencias sexuales y su relación con la actividad cerebral de cada sexo.

El estudio mostró evidencias en torno a la posibilidad de propiciar una reorganización funcional de la actividad cerebral a partir de participar en un entrenamiento basado en la enseñanza de estrategias cognitivas para enfrentar una

tarea en particular, en un tiempo relativamente corto, 90 mín. distribuidos en un mes, graduando los niveles de complejidad de conformidad con la ejecución de los sujetos, comenzando por lo más simple para llegar a lo más complejo incorporando en cada nuevo nivel un procesamiento diferente.

Permite generar evidencias en torno a que la reorganización funcional de la actividad cerebral se ve matizada por diferencias sexuales, lo cual pudiera tener gran relevancia en la creación de métodos de habilitación y rehabilitación para diversos procesos cognoscitivos, ajustados al procesamiento típico de cada sexo.

Permite fortalecer el conocimiento sobre los indicadores electrofisiológicos asociados a un mejor desempeño conductual y cognitivo. En particular, relacionados con las bandas de theta en la red fronto-parietal, en torno al procesamiento ejecutivo central.

Permite mostrar que el emplear dispositivos de realidad virtual para el entrenamiento de ciertas habilidades le confiere mayor relevancia ecológica, por lo cual los sujetos pueden generalizar las nuevas habilidades adquiridas a su vida cotidiana, confiriendo mayor sentido a su participación en el entrenamiento.

Apunta a la posibilidad de implementar en la habilitación y rehabilitación de ciertos procesos cognitivos para mejorar el desempeño conductual entrenamiento en realidad Virtual, pero dicha habilitación deberá tener en consideración las diferencias sexuales.

Quedan algunos senderos por recorrer. El poder realizar estudios de navegación espacial en realidad virtual en entornos cada vez más realistas en cuanto a la calidad del gráfico, las dimensiones y características del entorno.

Explorar las dificultades que experimentan los sujetos al navegar en ciudades con diferente legibilidad en el entorno, para el caso concreto incluir en el diseño de la ciudad patrones radiales, curvas arcos, uso de marcas sobresalientes por el horizonte.

Incrementar los tiempos de navegación en la tarea, comparando las diferencias sexuales cuando las mujeres disponen de mayor tiempo para hacer la tarea o varias exposiciones al entorno, por sólo mencionar algunas de las nuevas posibilidades.

Referencias bibliográficas

- Affleck, G., & Joyce, P. (1979). Sex differences in the association of cerebral hemispheric specialization of spatial functions with conservations task performances. *The Journal of Genetic Psychology*, 134, 271-280.
- Aftanas, L.I., & Golocheikine, S.A. (2001). Human anterior and frontal midline theta and lower alpha reflect emotionally positive state and internalized attention: high-resolution EEG investigation of meditation. *Neuroscience Letters*, 310, 57-60.
- Agonino, A.M., & Hsi, S. (1995). Learning style based innovations to improve retention of female engineering students in the synthesis coalition. En *ASEE/IEEE Frontiers in Education'95 Conference Proceedings*. Atlanta, Georgia, USA. Descargado Agosto, 2005, de http://best.berkeley.edu/pubs/95_0701_P.pdf.
- Aguirre, G.K. Zarahn, E., & D'Esposito, M. (1998). Neural components of topographical representation. *Proceedings of National Academy of Sciences USA*, 95, 839-846.
- Aguirre, G.K., & D'Esposito, M. (1997). Environmental knowledge is subserved by separable dorsal/ventral neural areas. *The Journal of neuroscience*. 17 (7), 2512-2518.
- Allahyar, M., & Hunt, E. (2003). The assessment of spatial orientation using virtual reality techniques. *International Journal of Testing*, 3, 263-275.
- Amposah, B., & Krekling, S. (1997). Sex differences in visual-spatial performance among Ghanaian and Norwegian adults. *Journal of Cross-cultural Psychology*, 28(1), 81-92.
- Annet, M. (1967). The binomial distribution of right, mixed and left handedness. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 61, 303-321.
- Anokhin, A.P., Lutzenberger, W., & Birbaumer, N., (1999). Spatiotemporal organization of brain dynamics and intelligence: and EEG study in adolescents. *International journal of psychophysiology*, 33, 259-273.
- Arce Ortiz, C. (1993). *Cambios electroencefalográficos relacionados al sexo y a la habilidad espacial*. Tesis de Maestría sin publicar, Facultad de Psicología, Universidad Nacional Autónoma de México, Distrito Federal, México.
- Arce, C. Ramos, J., Guevara, M.A., & Corsi-Cabrera, M. (1995). Effect of spatial ability and sex on EEG power in high school students. *International Journal of Psychophysiology*, 20, 11-20.
- Arthur, E., Hancock, P., & Telke, S. (1996). Navigation in virtual environments. *Proceedings of SPIE'96*, 2740, 77-84.
- Arthur, E.J., & Hancock, P.A. (2001). Navigation training in virtual environments. *International journal of cognitive ergonomics*, 5(4), 387-400.

- Arthur, E.J., Hancock, P.A., & Chrysler, S.T. (1997). The perception of spatial layout in real and virtual worlds. *Ergonomics*, 40, 69-77.
- Awh, E., & Jonides, J. (2001) Overlapping mechanisms of attention and spatial working memory. *Trends in cognitive sciences*, 5(3), 119-125.
- Bart, W.M., Baxter, J., & Frey, S. (1980). The relationships of spatial ability and sex to formal reasoning capabilities. *The Journal of Psychology*, 104, 191-198.
- Basar, E., Basar-Eroglu, C., Karakas, S., & Schürmann, M., (1999). Are cognitive processes manifested in event-related gamma, alpha, theta and delta oscillations in the EEG? *Neuroscience Letters*, 259, 165-168.
- Bayliss, J.D., & Ballard, D.H. (2000). A virtual reality tested for brain-computer interface research. *IEEE Trans Rehabilitating*. 8, 188-90.
- Beaumont, J.G., Mayes, A.R., & Rugg M.D. (1978). Asymmetry in EEG alpha coherence and power: effects of task and sex. *Electroencephalography and clinical neurophysiology*, 115,393-401.
- Bell, S., & Saucier, D. (2004). Relationship among environmental pointing, accuracy, mental rotation, sex and hormones. *Environment and Behavior*, 36(2), 251-265.
- Bischof, W.F., & Boulanger, P. (2003). Spatial navigation in virtual reality environments: An EEG Analysis. *CyberPsychology & Behaviour*, 6(5), 487-495.
- Bisel, M.G., & Ellard, C.G., (2000). The contribution of non visual information to simple place navigation and distance estimation: an examination of path integration. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, 54(3), 172-184.
- Blascovich, J., Loomis, J., Beall, A.C., & Swinth, K.R. (2002) Immersive Virtual Environment Technology as a Methodological Tool for Social Psychology. *Psychological Inquiry*, 13 (2), 103-125.
- Bohbot, V.D., Iaria, G., & Petrides, M. (2004). Hippocampal function and spatial memory: evidence from functional neuroimaging in healthy participants and performance of patients with medial temporal lobe resections. *Neuropsychology*, 18(3), 418-425.
- Bowers, C.A., Milham, L.M., & Price, C. (1998). Dual-task results and the lateralization of spatial orientation: artifact of test selection? *The Journal of General Psychology*, 125(1), 5-16.
- Brovelli, A., Ding, M., Ledberg, A., Chen, Y., Nakamura, R., & Bressler, S. (2004). Beta oscillations in large scale sensorimotor cortical network: Directional influences revealed by Granger causality. *PNAS*, 101(26), 9849-9854.
- Brown, I., Lahar, C.J., & Mosley, J.L. (1998). Age and Gender - related differences in strategy use for route information. A map-present direction-giving paradigm. *Environment and Behavior*, 30(2), 123-143.

- Bryant, K. (1991). Geographical/spatial orientation ability within real-world and simulated large-scale environments. *Multivariate Behavioral Research*, 26(1), 109-136.
- Buekers, M., Montagne, G., de Rugy, A., & Laurent, M. (1999). The regulation of externally paced human locomotion in virtual reality. *Neuroscience Letters*, 275(3), 171-174.
- Burgess, N., Maguire, E.A., Spiers, H.J., & O'Keefe, J. (2001). A temporoparietal and prefrontal network for retrieving the spatial context of lifelike events. *Neuroimaging*, 14, 439-453.
- Burgess, N., Maguire, E.A., & O'Keefe, J. (2002). The human Hippocampus and Spatial and Episodic Memory. *Neuron*, 35 (4), 625-641.
- Burin, D.I., Delgado, A.R., & Prieto, G. (2000). Solution strategies and gender differences in spatial visualization tasks. *Psicología*, 21, 275-286.
- Burns, P.C. (1999). Navigation and mobility of older drivers. *Journal of Gerontology*, 54b(1), S49-S55.
- Caldera, Y.M., McDonald Culp, A., O'Brien, M., Truglio, R.T., Alvarez, M., & Huston, A.C. (1999). Children's play preferences, construction play with blocks, and visual-spatial skills, are they related? *International Journal of Behavioral Development*, 23(4), 855-872.
- Caplan, J.B., Madsen, J.R., Schulze-Bonhage, A., Aschenbrenner-Scheibe, R., Newman, E.L., & Kahana, M.J. (2003). Human theta oscillations related to sensorimotor integration and spatial learning. *Journal of Neuroscience*, 23, 4726-4736.
- Caplan, J.B., Madsen, J.R., Raghavachari, S., & Kahana, M.J. (2001). Distinct patterns of brain oscillations underlie two basic parameters of human maze learning. *Journal of Neurophysiology*, 86, 368-380.
- Caplan, P.J., McPherson, G.M., & Tobin, P. (1985). Do sex related differences in spatial abilities exist? A multilevel critique with new data. *American Psychologist*, 40(7), 786-799.
- Carrozzo, M. & Lacquaniti, F. (1998). Virtual reality: a tutorial. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology/Electromyography and Motor Control*, 109(1), 1-9.
- Casey, M.B., Nutall, R., Pezaris, E., & Benbow, C.P. (1995). The influence of spatial ability on gender differences in mathematics colleges entrance test scores Across Diverse Samples. *Developmental Psychology*, 4, 697-705.
- Casey, M.B., Nuttall, R.L., & Pezaris, E. (1999). Evidence in support of a model that predicts how biological and environmental factors interact to influence spatial skills. *Developmental Psychology*, 35(5), 1237-1247.
- Classen, J., Gerloff, C., Honda, M., & Hallett, M., (1998). Integrative visuomotor behavior is associated with interregionally coherent oscillations in human brain. *Journal of Neurophysiology*, 79, 1117-1123.

- Cochran, K.F., & Wheatley, G.H. (1989). Ability and sex related differences in cognitive strategies on spatial tasks. *The Journal of Genetic Psychology*, 116(1), 43-55.
- Collins, D., & Kimura, D. (1997). A large sex difference on a two dimensional mental rotation task. *Behavioral Neurosciences*, 111(4), 845-849.
- Cornell, E.H., Sorenson, A., & Mio, T. (2002). Human sense of direction and way finding. *Annals of the American Association of Geographers*, 93, 402-428.
- Coromaldi, E. & Stadler, M.A., (2004, septiembre) *Long sustained theta activity during deep meditation: a single case study with a zen master*. Poster P266 presentado en 12th World Congress of Psychophysiology, Thessaloniki Grecia.
- Corsi-Cabrera, M. (1994). Diferencias sexuales en la organización funcional del cerebro. *Revista Latina de Pensamiento y Lenguaje*, 2, 299-326.
- Corsi-Cabrera, M., Herrera, P., & Malvido, M. (1989a). Correlation between EEG and Cognitive abilities: Sex differences. *International Journal of Neurosciences*, 45, 133-141.
- Corsi-Cabrera, M., Ramos, J., Guevara, M.A., Arce, C., & Gutiérrez, S. (1993). Gender differences in the EEG during cognitive activity. *International Journal of Neuroscience*, 72, 257-264.
- Corsi-Cabrera, M., Arce, C., Ramos, J., & Guevara, M.A. (1997). Effect of spatial ability and sex on inter and intrahemispheric correlation of EEG activity. *Electroencephalography and clinical neurophysiology*, 102, 5-11.
- Corsi-Cabrera, M., Gutiérrez, S., Ramos, J., & Arce, C. (1988). Interhemispheric correlation of EEG activity during successful and unsuccessful cognitive performance. *International Journal of Neuroscience*, 39, 253-259.
- Crone, N.E., Miglioretti, D.L., Gordon, B., & Lesser, R.P. (1998). Functional mapping of human sensorimotor cortex with electrocorticographic spectral analysis II. Event-related synchronization in the gamma band. *Brain*, 121, 2301-2315.
- Cubukcu, E. (2001). *Factors affecting location recall accuracy*. Ohio State University. Descargado en Marzo, 2005, de http://knowlton.osu.edu/studentwork/crpstudent/Nasar_Ebru/Ebru_Paper_gm.pdf
- Cubukcu, E. (2003). *Investigating wayfinding using virtual environments*. Tesis Doctoral no publicada, Ohio State University, City and Regional Planning, Ohio, USA.
- Curtis, C.E., & D'Esposito, M. (2003). Persistent activity in the prefrontal cortex during working memory. *Trends in Cognitive Science*, 7(9), 415-423.
- Czerwinski, M., Tan, D.S. & Robertson, G. (2002, abril). *Women take a Wider View*. Trabajo presentado en CHI 2002, Minneapolis Minnesota, USA.
- Darken, R.P. (1995). *Wayfinding in Large-Scale Virtual Worlds*. *Proceedings of the Conference Companion of ACM CHI '95*, 45-46.

- Darken, R.P., & Bamker, W.P. (1998). *Navigating in natural environments: a virtual environment training transfer study*. *Proceedings of VRAIS'98*, 12-19.
- Darken, R.P., & Peterson, B. (2002). Spatial Orientation, Wayfinding and Representation. En Stanney, K. (ed.) *Handbook of Virtual Environment Design, Implementation and Applications* (pp. 493-518). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Davidov, V. (1988). *La enseñanza escolar y el desarrollo psíquico*. Moscú: Progreso.
- Davidson, R.J., Chapman, J.P., Chapman, L.J., & Henriques, J.B. (1990). Asymmetrical brain electrical activity discriminates between psychometrically-matched verbal and spatial cognitive tasks. *Psychophysiology*, 27(5), 528-543.
- De Araujo, D.B., Baffa, O., & Wakai, R.T. (2002). Theta oscillations and human navigation: a magnetoencephalography study. *Journal of cognitive neuroscience*, 14(1), 70-78.
- De Lisi, R., & Wolford, J.L. (2002). Improving children's mental rotation accuracy with computer game playing. *The Journal of Genetic Psychology*, 163(3), 272-282.
- Devlin, A.S. (2001). *Mind and Maze. Spatial Cognition and Environmental Behavior*. Westport Connecticut: Praeger.
- Dogu, U., & Erkip, F. (2000). Spatial factors affecting wayfinding and orientation. A case study in a shopping mall. *Environment and Behavior*, 32(6), 731-755.
- Dörfler, T., Simmel, A., Schleif, F.M., & Sommerfeld, E. (2001). *Complexity-Dependent Synchronization of Brain Subsystems during Memorization*. Fechner Day 2001. Descargado marzo 2004 de <http://www.uni-leipzig.de/fechnerday/generalinfor/PDFs/TDorfler.pdf>.
- Doyle, J.C., Ornstein, R., & Galin, D. (1974). Lateral specialization of cognitive mode: II. EEG frequency analysis. *Psychophysiology*, 11(5), 567-578.
- Ecuyer-Dab, I., & Robert, M. (2004). Spatial ability and home-range size: examining the relationship in western men and women (*Homo sapiens*). *Journal of Comparative Psychology*, 118(2), 217-231.
- Ekstrom, A.D., Kahana, M.J., Caplan, J.B., Fields, T.A., Isham, E.A., Newman, E.L., & Fried, I. (2003). Cellular networks underlying human spatial navigation. *Nature*, 425, 184-187.
- Epstein, R., & Kanwisher, N. (1998). A cortical representation of the local visual environment. *Nature*, 392, 598-601.
- Ernest, C.H. (1998). Spatial ability and lateralization in the haptic modality. *Brain and Cognition*, 36, 1-20.
- Farrell, M.J., Arnold, P., Pettifer, S., Adams, J., Graham, T., & MacManamon, M. (2003). Transfer of route learning from virtual to real environments. *Journal of experimental psychology applied*, 9(4), 219-227.
- Feingold, A. (1988). Cognitive Gender Differences are Disappearing. *American Psychologist*, 43(2), 95-103.

- Flor-Henry, P. (1980). Evolutionary and clinical aspects of lateralized sex differences. En J. McGlone (ed.), *Sex differences in human brain asymmetry: A critical survey. The Behavioral and Brain Science*, 3, Commentary, 235-236.
- Foreman, N., Stanton, D., Wilson, P., & Duffy, H. (2003). Spatial knowledge of a real school environment acquired from virtual or physical models by able-bodied children and children with physical disabilities. *Journal of experimental Psychology*, 9(2), 67-74.
- Foreman, N., Stirk, J., Pohl, J., Mandelkowitz, L., Lenhung, M., Herzog, A., & Lepow, B. (2000). Spatial information transfer from virtual to real versions of the Kiel locomotion Maze. *Behavioral Brain Research*, 112(1/2), 53-61
- Gabrieli, J.D.E., Brewer, J.B., Desmond, J.E., & Glover, G.H. (1997). Separate neural bases of two fundamental memory processes in the human medial temporal lobe. *Science*, 276(5310), 264-266.
- Galea, L.A.M. & Kimura, D. (1993). Sex differences in route learning. *Personality and Individual Differences*, 14, 53-65.
- Galin, D., Ornstein, R., Herron, J., & Johnstone, J. (1982). Sex and handedness differences in EEG measures of hemispheric specialization. *Brain and language*, 16, 19-55
- Geary, D.C., Gilger, J.W., & Elliot-Miller, B. (1992). Gender differences in three dimensional mental rotation: a Replication. *The Journal of Genetic Psychology*, 153(1), 115-117.
- Gevins, A., & Smith, M.E., (2001). Neurophysiological measures of working memory and individual differences in cognitive ability and cognitive style. *Cerebral Cortex*, 10(9), 829-839.
- Gevins, A., Smith, M.E., Leong, H., McEvoy, L., Whitfield, S., Du, R., & Rish, G., (1999). Monitoring working memory load during computer-based tasks with eeg pattern recognition methods. *Human Factors*, 40(1), 79-91.
- Ghaem, O., Mellet, E., Crivello, F., Tzourio, N., Mazoyer, B., Berthoz, A., & Denis, M. (1997). Mental navigation along memorized routes activates the hippocampus precuneus and insula. *Neuroreport*, 8(3), 739-744.
- Gill, H.S., & O'Boyle, M.W. (1997). Sex differences in matching circles and arcs: a preliminary EEG investigation. *Laterality*, 2(1), 33-48.
- Glittler, G., & Glück, J. (1998). Differential transfer of learning: effects of instruction in descriptive geometry on spatial test performance. *Journal for geometry and graphics*, 2(1), 71-84.
- Glück, J., & Fitting, S. (2003). Spatial strategy selection: interesting incremental information. *International Journal of Testing*, 3(3), 293-308.
- Golbeck S.L., & Sinagra, K. (2000). Effects of gender and collaborations on collage student's performance on piagetian. *The Journal of Experimental Education*, 69(1), 22+.

- Golledge, R.G. (1999). Human Wayfinding and Cognitive Maps. En R. G. Golledge (ed.), *Wayfinding behavior* (pp. 5-46). Baltimore: The Johns Hopkins University Press.
- Goodrich, G.A., Damin, P.B., Ascione, F.R., & Thompson, T.M. (1994). Gender differences in piagetian visual-spatial representation of verticality and horizontality. *The Journal of Genetic Psychology*, 154(4), 449-458.
- Grön, G., Wunderlich, A.P., Spitzer, M., Tomczak, R., & Riepe, M.W. (2000). Brain activation during Human navigation: Gender-different neural networks as substrate of performance. *Nature*, 3(4), 404-408.
- Gutiérrez, S. & Corsi-Cabrera, M. (1988). EEG activity during performance of cognitive task demanding verbal or spatial processing. *International journal of neurosciences*, 62,149-155.
- Halari, R., Hines, M., Kumasi, V., Mehrotra, R., Wheeler, M., Ng, V., & Sharma, T. (2005). Sex differences and individual differences in cognitive performance and their relationship to endogenous Gonadal Hormones and Gonadotropins. *Behavioral Neurosciences*, 119, 104-117.
- Hamilton, C. J. (1995). Beyond sex differences in visuo-spatial processing: The impact of Gender trait possession. *British Journal of Psychology*, 86, 1-20.
- Hampson, E., & Kimura, D. (1992). Sex differences and hormonal influences on cognitive functions in Humans. En J.B. Becker, S.M. Breedlove, D. Crews (eds.), *Behavioral Endocrinology*. Cambridge, London: The MIT Press.
- Harmony, T.; Hinojosa, G.; Marosi, E.; Becker, J.; Fernández, T.; Rodríguez, M.; Reyes, A.; & Rocha, C. (1990). Correlation between EEG spectral parameters and an educational evaluation. *International Journal of Neuroscience*, 54, 147-155.
- Harmony, T., Fernández, T., Silva, J., Bernal, j., Díaz-Comas, L., Reyes, A., Marosi, E., Rodríguez, M., & Rodríguez, M. (1996). EEG delta activity: an indicator of attention to internal processing during performance of mental tasks. *International Journal of Psychophysiology*, 24(1-2), 161-171.
- Harmony, T., Marroquin, J.L., Rodríguez, V., & Fernández, T. (2005, noviembre) *EEG time-frequency analysis of cognitive processes. Memoria del International Meeting "Mind & Electrophysiology"*, Guadalajara, México.
- Harrell, W.A., Bowlby, J.W., & Hall-Hoffarth, D. (2000). Directing wayfinders with maps: the effects of gender, age, route complexity and familiarity with the environment. *The Journal of Social Psychology*, 140(2), 169-178.
- Hartley, T., Maguire, E.A., Spiers, H.J., & Burgess, N. (2003). The well-worn route and the path less traveled: distinct neural bases of route following and wayfinding in humans. *Neuron*, 37, 877-888.
- Hoptman, M.J., & Davidson, R.J., (1998) Baseline EEG asymmetries and performance on neuropsychological tasks. *Neuropsychologia*, 36 (12), 1343-1353.

- Howard, M.W., Rizzuto, D.S., Caplan, J.B., Madsen, J.R., Lisman, J., Aschenbrenner-Scheibe, R., Schulze-Bonhage, A., & Kahana, M.J. (2003). Gamma oscillations correlate with working memory load in humans. *Cerebral Cortex*, 13(12), 1369-1374.
- Hunt, E., & Waller, D. (1999). *Orientation and wayfinding: a review*. (Technical report N-00014-96-0380). Arlington, VA: Office of Naval Research.
- Hyde, J.S., Geiringer, E.R., & Yen, W.M., (1975). On the empirical relation between spatial ability and sex differences in other aspects of cognitive performance. *Multivariate Behavioral Research*, 10, 289-310.
- Jahoda, G. (1979). On the nature of difficulties in spatial-perceptual tasks: ethnic and sex differences. *British Journal of Psychology*, 70, 351-363.
- Jahoda, G. (1980). Sex and ethnic differences on a spatial-perceptual task: some hypotheses tested. *British Journal of Psychology*, 71, 425-431.
- Jausovec, N., & Jausovec, K., (2000). EEG activity during the performance of complex mental problems. *International journal of psychophysiology*, 36(1), 73-88.
- Jordan, K., Wüstenberg, T., Heinze, H.J., Peters, M., & Jäncke, L. (2002). Women and men exhibit different cortical activation patterns during mental rotation tasks. *Neuropsychologia*, 40, 2397-2408.
- Joseph, J.E., & Willingham, D.B. (2000). Effect of sex and joystick experience on pursuit tracking in adults. *Journal of Motor Behavior*, 32(1), 45-56.
- Kahana, M., Sekuler, R., Caplan, J., Kirschen, M., & Madsen, J.R. (1999b). Human theta oscillations exhibit task dependence during virtual maze navigation. *Nature*, 399 (6738), 781-784.
- Kahana, M.J. Seeglig, D., & Madsen, J.R. (2001). Theta returns. *Currents opinion in neurobiology*, 11, 739-744.
- Kahana, M.J., Caplan, J.B., Sekuler, R., & Madsen, J.R. (1999a). Using intracranial recordings to study theta. *Trends in cognitive sciences*, 3(11), 406-407
- Kalichman, S.C. (1989a). Sex roles and sex differences in adult spatial performance. *The Journal of Genetic Psychology*, 150(1), 93-100.
- Kalichman, S.C. (1989b). The effects of stimulus context on paper-pencil spatial task performance. *The Journal of General Psychology*, 116(2), 133-139.
- Kass, S.J., Ahlers, R.H., & Dugger, M. (1998). Eliminating gender differences through practice in an applied visual spatial task. *Human performance*, 11(4), 337-349.
- Kimura, D. (2000). *Sex and Cognition*. Cambridge: The MIT Press.
- Kirasic, K.C., Allen, G.L., & Siegel, A.W. (1984). Expression of configurational knowledge of large-scale environments. Student's performance of cognitive tasks. *Environment and Behavior*, 16(6), 687-712.
- Kitchin, R.M. (1996). Are the sex differences in geographic knowledge and understanding? *The Geographical Journal*, 162, 273-287.

- Klimesch, W. (1999). EEG alpha and theta oscillations reflects cognitive and memory performance: a review and analysis. *Brain Research Brain Research Review*, 29(2-3), 169-195.
- Klimesch, W., Doppelmayr, M., Russegger, H., Pachinger, T., & Schwaiger, J., (1998). Induced alpha band power changes in the human EEG and attention. *Neuroscience Letters*, 244, 73-76.
- Klimesch, W., Doppelmayr, M., Schimke, H., & Ripper, B. (1997) Theta synchronization and alpha desynchronization in memory task. *Psychophysiology*, 34, 169-176.
- Klimesch, W., Schack, B., & Sauseng, P. (2005). The functional significance of theta and upper alpha oscillations. *Experimental psychology*, 52(2), 99-108.
- Kolev, V., & Schürmann, M. (1992). Event-related prolongation of induced EEG rhythmicities in experiments with a cognitive task. *International Journal Neuroscience*. 67,199-213.
- Kozulin, A. (1994). *La psicología de Vygotski*. Madrid: Alianza Psicología Minor.
- Lacreuse, A., Kim, C.B., Rosene, D.L., Killiany, R.J., Moss, M.B., Moore, T.L., Chennareddi, L., & Herndon, J.G. (2005). Sex, age and training modulate spatial memory en the rhesus monkey (macaca mulatta). *Behavioral Neurosciences*, 119(1), 118-126.
- Ian, J.B., Madsen, J.R., Lisman, J., Aschenbrenner-Scheibe, E., Schulze-Bonhage, A., & Kahana, M. (2003). Gamma oscillations increase with working memory load in humans. *Cerebral Cortex*, 13, 1369-1374.
- Lawton, C., & Kallai, J. (2002). Gender differences in wayfinding strategies and anxiety about wayfinding: a cross-cultural comparison. *Sex Roles*, 47(9/10), 389-401.
- Lawton, C.A. (1996). Strategies for indoor wayfinding. The role of orientation. *Journal of Environmental Psychology*, 16, 137-145.
- Lawton, C.A. (2001). Gender and regional differences in spatial referents used in direction living. *Sex Roles*, 44(5/6), 321-337.
- Lawton, C.A., Charleston, S.I., & Zieles, A.S. (1996). Individual and gender-related differences in indoor wayfinding. *Environment and Behavior*, 28(2), 204-219.
- Lawton, C.A., & Morrin, K.A. (1999). Gender differences in pointing accuracy in computer-simulated 3d mazes. *Sex Roles*, 40, 73-92
- Lepow, B., Lehnung, M., Pohl, J., Herzog, A., Ferstl, R., & Mehdorn, M. (2003). Navigational place learning in children and young adults as assessed with a standardized locomotor search task. *British Journal of Psychology*, 94, 299-317.
- Levine, S.C., Huttenlocher, J., Taylor, A., & Langrock, A. (1999). Early sex differences in spatial skill. *Developmental Psychology*, 35(4), 940-949.

- Linn, M.C., & Petersen, A.C. (1985). Emergent and characterization of sex differences in spatial ability: A meta analysis. *Child Development*, 56, 1479-1498.
- Loomis, J.M., Blascovich, J.J., & Beall, A.C. (1999). Immersive virtual environment technology as a basic research tool in psychology. *Behavioral Research Methods Instrumental Comput.* 31, 557-64.
- Lynn, L. & Golbeck, S.L. (1986). Adult's demonstration of underlying Euclidean concepts in relation to task context. *Developmental Psychology*, 22(4), 487-490.
- Maguire, E.A. (2001). The retrosplenial contribution to human navigation: a review of lesions and neuroimaging findings. *Scandinavian Journal of Psychology*, Jul 42, 225-38.
- Maguire, E.A., Burgess, N., Donnett, J.G., Frackowiak, R.S., Frith, C.D., & O'Keefe, J. (1998b). Knowing where and getting there: a human navigation network. *Science*, 280, 921-4.
- Maguire, E.A., Burgess, N., & O'Keefe, J. (1999). Human spatial navigation: cognitive maps, sexual dimorphism, and neural substrates. *Current Opinion in Neurobiology*, 9(2), 171-177
- Maguire, E.A., Frackowiak, R.S., & Frith, C.D. (1996b). Learning to find your way: a role for the human hippocampal formation. *Proc. Research Society of London B Biology Science*, 263, 1745-50.
- Maguire, E.A., Burke, T., Phillips, J., & Staunton, H. (1996a). Topographical disorientation following unilateral temporal lobe lesions in humans. *Neuropsychologia*, 34, 993-1001.
- Maguire, E.A., Frackowiak, R.S., & Frith, C.D. (1997). Recalling routes around London: activation of the right hippocampus in taxi drivers. *Journal of Neurosciences*, 17, 7103-10.
- Maguire, E.A., Frith, C.D., Burgess, N., Donnett, J.G., & O'Keefe, J. (1998a). Knowing where things are: parahippocampal involvement in encoding object locations in virtual large-scale space. *Journal of cognitive neuroscience*, 10 (1), 61-76.
- Maguire, E.A., Frith, C.D., & Cipolotti, L. (2001). Distinct neural systems for the encoding and recognition of topography and faces. *Neuroimage*, 13, 743-50.
- Maguire, E.A., Gadian, D.G., Johnsrude, I.S., Good, C.D., Ashburner, J., Frackowiak, R.S., & Frith, C.D. (2000). Navigation related structural change in the hippocampi of taxi drivers. *Proceedings of the National Academy of Sciences U.S.A.* 97, 4398-403.
- Maguire, E.A., Spiers, H.J., Good, C.D., Hartley, T., Frackowiak, R.S.J., & Burgess, N. (2003). Navigation Expertise and the human hippocampus: a structural brain imaging analysis. *Hippocampus*, 13, 208-217.

- Matousek, M., & Petersen, I. (1973). Automatic evaluation of EEG background activity by means of age-dependent EEG quotients. *Electroencephalography & clinical neurophysiology*, 35, 603-612.
- Mayes, J.T. (1982). Hemisphere function and spatial ability: an exploratory study of sex and cultural differences. *International Journal of Psychology*, 11, 65-80.
- Mayes, J.T., Jahoda, G., & Neilson, I. (1988). Patterns of visual-spatial performance and 'spatial ability': dissociation of ethnic and sex differences. *British Journal of Psychology*, 79, 105-119.
- McGlone, J. (1980). Sex differences in human brain asymmetry: A critical survey. *The Behavioral and Brain Sciences*, 3, 215-263.
- McLeod, S. & Peacock, L. (1977). Task-related EEG asymmetry: effects of age and ability. *Psychophysiology*, 14(3), 308-311.
- Mellet, E., Bricogne, S., Tzourio-Mazoyer, N., Ghaëm, O., Petit, L., Zago, L., Etard, O., Berthoz, A., Mazoyer, B., & Denis, M. (2000). Neural correlates of topographic mental exploration: the impact of route versus survey perspective learning. *Neuroimage*, 12, 588-600.
- Montello, D.R. (2001). Spatial Cognition. En N.J. Smelser y P.B. Batles (eds.), *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences* (14771-14775). Oxford: Pergamon Press.
- Montello, D.R., Lovelace, K.L., Golledge, R.G., & Self, C.M. (1999). Sex-related differences and similarities in geographic and environmental spatial abilities. *Annals of the Association of American Geographers*, 89(3), 515-534.
- Mullis, R.L., & Bornhoeft, D.M. (1983). Orientation and cognitive functioning in young children. *Sex Roles*, 113, 17-23.
- Newman, E.L., Caplan, J.B., & Kirschen, M.P. (2002). *Learning your way around town: Virtual taxicab drivers reveal the secrets of navigational learning*. Submitted Center for Complex Systems, Brandeis University. Descargado en agosto, 2003, de, <http://fechner.ccs.brandeis.edu/publications/files/NewmEtal02.pdf>
- Nordvick, H., & Amponsah, B. (1998). Gender differences in spatial abilities and spatial activity among university students in an egalitarian educational system. *Sex Roles*, 38(11-12), 1009-1023.
- O'Keefe, J., Burgess, N., Donnett, J.G., Jeffery, K.J., & Maguire, E.A. (1998) Place cells navigational accuracy, and the human hippocampus. *Philosophical Trans. Research Society of London B. Biology of Science*, 353, 1333-1340.
- O'Keefe, J., & Burgess, N. (1999). Theta activity, virtual navigation and the human hippocampus. *Trends in cognitive sciences*, 3(11), 403-405
- Orsini, A., Schiappa, O., Chiacchio, L., & Grossi, D. (1982). Sex differences in a children's spatial serial-learning task. *The Journal of Psychology*, 111, 67-71.
- Osaka, M. (1984). Peak alpha frequency of EEG during a mental task: task difficulty and hemispheric differences. *Psychophysiology*, 21(1), 101-105.

- Owen, A.M., Milner, B., Petrides, M., & Evans, A.C. (1996). A specific role for the right parahippocampal gyrus in the retrieval of object-location: a positron emission tomography study. *Journal of cognitive neuroscience*, 8, 588-602.
- Petsche, H., Lacroix, D., Lindner, K., Rappelsberger, P., & Schmidt-Henrich, E. (1992). Thinking with images or thinking with language: a pilot EEG probability mapping study. *International Journal of Psychophysiology*, 12, 31-9.
- Pearl, R.K., Evenhouse, R., Rasmussen, M., Dech, F., Silverstein, J.C., Prokasy, S., & Panko, W.B. (1999). The virtual pelvic floor, a tele-immersive educational environment. *Proceedings. AMAI Symposium 1999*, 345-348.
- Pearson, J.L., & Ferguson, L.R. (1989). Gender differences in patterns of spatial ability environmental cognition and math and English achievement in late adolescence. *Adolescence*, 24(94), 421-431.
- Pezaris, E., & Casey, M.B. (1991). Girl's who use "masculine" problem-solving strategies on a spatial task: proposed genetic and environmental factors. *Brain and Cognition*, 17(1), 1-22.
- Pine, D.S., Grun, J., Maguire, E.A., Burgess, N., Zahahn, E., Koda, V., Fyer, A., Szeszko, P.R., & Bilder, R.M. (2002). Neurodevelopmental aspects of spatial navigation: a virtual reality fMRI study. *Neuroimage*, 15, 396-406.
- Pontius, A.A. (1997). No gender differences in spatial representations by schoolchildren in northwest Pakistan. *Journal of Cross Cultural Psychology*, 28(6), 779-786.
- Quaiser-Pohl, C., & Lehmann, W. (2002). Girl's spatial abilities: charting the contributions of experiences and attitudes in different academic groups. *British Journal of Educational Psychology*, 72, 245-260.
- Raghavachari, S., Kahana, M.J., Rizzuto, D.S., Caplan, J.B., Kirschen, B.B., Madsen, J.R., & Lisman, J.E. (2001) Gating of human theta oscillations by a working memory task. *The journal of neuroscience*, 21(9), 3175-3183.
- Rahman, Q., Andersson, D., & Govier, E. (2005). A specific sexual orientation-related difference in navigation strategy. *Behavioral Neuroscience*, 119 (1), 311-316.
- Ramos, J., Corsi-Cabrera, M., Guevara, M.A., & Arce, C. (1993). EEG activity during cognitive performance in women. *International Journal of Neurosciences*, 69, 185-195.
- Ramos L., J. (2001). Diferencias sexuales en el cerebro. Relación entre conducta, anatomía y función. En V. M. Alcaraz R., E. Gumá (eds.), *Texto de Neurociencias Cognitivas* (pp. 23-49). México: Manual Moderno.
- Ramos, J., Corsi-Cabrera, M, Guevara, M.A., & Arce, C. (1983). EEG activity during cognitive performance in women. *International Journal of Neurosciences*, 69, 185-195
- Raven, J.C., Court, J.H., & Raven, J. (1999). *Test de matrices progresivas, Escalas coloreadas, general y avanzada*, Manual. Argentina: Paidós.

- Redlick F.P., Jenkin, M., & Harris, L.R. (2001). Humans can use optic flow to estimate distance of travel. *Vision Research*, 41(2), 213-219.
- Rescher, B., & Rappelsberger, P. (1999). Gender dependent EEG-changes during a metal rotation task. *International Journal of Psychophysiology*, 33, 209-22.
- Richmon, P.G. (1980). A limited sex difference in spatial test scores with a preadolescent sample. *Child Development*, 51, 601-602.
- Ritter, D. (2004). Gender role orientation and performance on stereotypically feminine and masculine cognitive tasks. *Sex Roles*, 50(7-8), 583-591.
- Rivière, A. (1988). *La psicología de Vygotski*. Madrid: Aprendizaje Visor.
- Roberts, J.E., & Bell, M.A. (2000). Sex differences on a mental rotation task: variations in electroencephalogram hemispheric activation between children and college students. *Developmental Neuropsychology*, 17(2), 199-223.
- Rose, D., & Foreman, N. (1999). Virtual Reality: A new tool for psychology? *The Psychologist*, 12, 550-554.
- Rossano, M.J., & Reardon, W.P. (1999). Goal specificity and the acquisition of survey knowledge. *Environment and Behavior*, 31(3), 395-412.
- Rugg, M.D., & Dickens, A.M.J., (1982) Dissociation of alpha and theta activity as a function of verbal and visuospatial tasks. *Electroencephalography and clinical neurophysiology*, 53, 201-207.
- Sakthivel, M., Patterson, P.E., & Cruz-Neira, C. (1999). Gender differences in navigating virtual Worlds. *Biomedical Science Instrumental*, 35, 353-9
- Sanders, B., & Soares, M.P. (1986). Sexual maturation and spatial ability in collage students. *Development Psychology*, 22(2), 199-203.
- Sandstorm, N.J., Kaufman, J., & Huettel, S. (1998). Males and females use different distal cues in a virtual environment navigation task. *Cognitive Brain Research*, 6(4), 351-60.
- Satalich, G.A. (1995). *Navigation and Wayfinding in Virtual Reality: Finding the Proper Tools and cues to Enhance Navigational Awareness*. Tesis de Maestría en ciencias de la ingeniería sin publicar, Seattle, WA: University of Washington.
- Saucier, D.M., Green, S.M., Leason, S.M., Macfadden, A., Bell, S., & Elias, L.J. (2002). Are differences in navigation caused by sexually dimorphic strategies or by differences in ability to use the strategies? *Behavioral Neurosciences*, 116(3), 403-410.
- Sauseng, P., Klimesch, W., Schabus, M., & Doppelmayr, M. (2005). Fronto-parietal EEG coherence in theta and upper alpha reflect central executive functions of working memory. *International Journal of Psychophysiology*, 57, 97-103.
- Scali, R.M., Brownlow, S., & Hicks, J.L. (2000). Gender differences in spatial task performance as a function of speed or accuracy orientation. *Sex Roles*, 43(5/6), 359-376.

- Schack, B., Klimesch, W., & Sauseng, P. (2005). Phase synchronization between theta and upper alpha oscillations in a working memory task. *International Journal of Psychophysiology*, 57, 105-114.
- Schmitz, S. (1997). Gender related strategies in environmental development. Effect of anxiety on wayfinding in and the representation of three dimensional mazes. *Journal of Environmental Psychology*, 17, 215-228.
- Schmitz, S. (1999). Gender differences in acquisition of environmental knowledge related to wayfinding behavior, spatial anxiety and self estimated environmental competencies. *Sex Roles*, 41(1/2), 70-93.
- Schultheis, M.T., Himelstein, J., & Rizzo, A.A. (2002). Virtual reality and neuropsychology: upgrading the currents tools. *Journal of head trauma rehabilitation*, 17(5), 378-394.
- Schultheis, M.T., & Rizzo, A.A. (2001). The application of virtual reality technology in rehabilitation. *Rehabilitation Psychology*, 46(3), 296-311.
- Schürmann, M., Basar-Eroglu, C., & Basar, E. (1997). Gamma response in the EEG: elementary signals with multiple functional correlates. *Neuroreport*, 8(2), 531-534.
- Sederberg, P.B., Kahana, M.J., Howard, M.W., Donner, E.J., & Madsen, J.R., (2003). Theta and gamma oscillations during encoding predict subsequent recall. *The journal of neuroscience*, 23(34), 10809-10814.
- Serrien, D.J., Fisher, R.J., & Brown, P. (2003). Transient increases of synchronized neural activity during movement preparation, influence of cognitive constraints. *Experimental Brain Research*, 153, 27-34.
- Sharps, M.J., Price, J.L., & Williams, J.K. (1994). Spatial cognition and gender; Instructional and stimulus influences on mental image rotation performance. *Psychology of Women Quarterly*, 18, 413-425.
- Shelton, A.L., & Gabrieli, J.D.E. (2002). Neural correlates of encoding space form route and survey perspectives. *The journal of neurosciences*, 22(7), 2711-2717.
- Shelton, A.L., & Gabrieli, J.D.E. (2004). Neural correlates of individual differences in spatial learning strategies. *Neuropsychology*, 18(3), 442-449.
- Siegel-Hinson, R.I., & McKeever, W.F. (2002). Hemispheric specialization, spatial activity experience and sex differences on test of mental rotation ability. *Laterality*, 7(1), 59-74.
- Signorella, M.L. & Wesley, J. (1986). Masculinity, femininity, androgyny and cognitive performance: a meta analysis. *Psychological Bulletin*, 100 (2), 207-228.
- Signorella, M.L., Jamison, W., & Krupa, M.H. (1989). Predicting spatial performance from gender-stereotyping in activity preferences and in self-concept. *Developmental Psychology*, 25 (1), 89-95.
- Simmel, A. Dörfler, T., Schleif, M., & Sommerfeld, E. (2001). An analysis of connections between internal of external learning process indicator using EEG

- coherence duration. *Fechner Day 2001*. Descargado marzo 2004 de <http://www.uni-leipzig.de/fechnerday/generalinfor/PDFs/ASimmel.pdf>.
- Sommerfeld, E., Hensel, A., & Hildebrandt, A. (2001). Cooperation of frontal and parietal brain areas as a function of cognitive training. *Fechner Day 2001*. Descargado marzo 2004 de <http://www.uni-leipzig.de/fechnerday/generalinfor/PDFs/ESommerfeld.pdf>.
- Spiers, H.J., Burgess, N., Hartley, T., Vargha-Khadem, F., & O'Keefe, J. (2001a). Bilateral hippocampal pathology impairs topographical and episodic memory but not visual pattern matching. *Hippocampus*, 11, 715-25.
- Spiers, H.J., Burgess, N., Maguire, E.A., Baxendale, S.A., Hartley, T., Thompson, P.J., & O'Keefe, J. (2001b). Unilateral temporal lobectomy patients show lateralized topographical and episodic memory deficit in virtual town. *Brain*, 124, 2476-2489.
- Tan, D.S., Czerwinski, M., & Robertson, G. (2003, abril). *Women Go with the (optical) flow*. Trabajo presentado en CHI 2003, Fort Lauderdale, Florida, USA.
- Tolmie, A., Thomson, J., & Foot, H. (2001, julio). *Training children's pedestrian skills using simulated traffic environments*. Trabajo presentado en VIIIth European Congress of Psychology. Londres, Inglaterra.
- Trotman, S.C.A., & Hammond, G.R. (1979). Sex differences in task-dependent EEG Asymetries. *Psychophysiology*, 16 (5), 429-431.
- Tuggy, M.L. (1998). Virtual reality flexible sigmoidoscopy simulator training: impact on resident performance. *Journal of American Board of Family Practice*, 11, 426-33.
- Unterrainer, J., Wranek, U., Staffen, W., Gruber, T., & Ladurner, G. (2000). Lateralized cognitive visuospatial processing: is it primarily gender-related or due to quality of performance. *Neuropsychobiology*, 41, 95-101.
- Van Horn, J.D., Gold, J.M., Esposito, G., Ostrem, J.L., Mattay, V., Weinberger, D.R., & Berman, K.F. (1998). Changing patterns of brain activation during maze learning. *Brain Research*, 793, 29-38
- Van Vliet, W. (1983). Exploring the fourth environment. An examination of the home-range of city and suburban teenagers. *Environment and Behavior*, 15 (5), 567-588.
- Vasta, R., Knott, J.A., & Gaze, C.E. (1996). Can spatial training erase the gender differences on the water level task? *Psychology of women quarterly*, 20, 549-567.
- Viaud-Delmon, I., Ivanenko, Y.P., Berthoz, A., & Jouvent, R. (1998). Sex, lies, and virtual reality. *Nature Neurosciences*, 1(1), 15-16.
- Vigotsky, L.S. (1979). *El desarrollo de los procesos psicológicos superiores*. España: Crítica Grijalbo.

- Von Stein, A., Rappelsberger, P., Sarnthein, J., & Petsche, H. (1999). Synchronization between temporal and parietal cortex during multimodal object processing in man. *Cerebral Cortex*, 9 (2), 137-150.
- Voyer, D. (1996). The relation between mathematical achievement and Gender differences in spatial abilities: a suppression effect. *Journal of Educational Psychology*, 88(3), 563-571.
- Voyer, D. (1997). Scoring procedures, performance factors and magnitude of sex differences in spatial performance. *American Journal of Psychology*, 110, 259-276.
- Voyer, D. Nolan, C., & Voyer, S. (2000). The relation between experiences and spatial performance in men and women. *Sex Roles*, 43(11/12), 891-915.
- Voyer, D., Voyer, S., & Bryden, M.P. (1995). Magnitude of sex differences in spatial abilities: A meta-analysis and consideration of critical variables. *Psychological Bulletin*, 117, 250-270.
- Waller, D. (2000). Individual differences in spatial learning from computers simulated environments. *Journal of Experimental Psychology Applied*, 6(4), 307-321.
- Waller, D., & Miller, J. (1998) A desktop virtual environment trainer provides superior retention of a spatial assembly skill. Trabajo presentado en *ACM SIGCHI 1998*, Los Angeles, CA., USA.
- Ward, S.L., Newcombe, N., & Overton, W.F. (1986). Turn left at the church, or three miles north, a study of direction living and sex differences. *Environment and Behavior*, 18(2), 193-213.
- Williams, J.D., & Brekke, B.W. (1979). Relationships among different stages of piagetian tasks and spatial relations in adolescents. *The Journal of Genetic Psychology*, 134, 179-184.
- Witzke, D.B., Hoskins, J.D., Mastrangelo, M.J., Witzke, W.O, Chu, U.B., Pande, S., & Park, A.E. (2001). Immersive virtual reality used as a platform for perioperative training for surgical residents. *Studies Health Technology Inform*, 81, 577-583.