



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**Efecto de la escala espacial en el desempeño  
de la conducta de búsqueda en niños**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**BIOLOGA**

**P R E S E N T A:**

**Bertha Yliana Valdez Fernández**



**DIRECTOR DE TESIS:  
Dr. Marcos Rosetti Sciutto**

**Ciudad Universitaria, Cd. Mx. Junio 2017**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## Hoja de Datos del Jurado.

### 1. Datos del alumno

Apellido paterno

Apellido materno

Nombre (s)

Teléfono

Carrera

Número de cuenta

Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Ciencias

### 1. Datos del alumno

Valdez

Fernández

Bertha Yliana

044 55 3113 0282

Licenciatura en Biología

309130662

### 2. Datos del tutor

Grado

Nombre (s)

Apellido paterno

Apellido materno

### 2. Datos del tutor

Dr.

Marcos Francisco

Rosetti

Sciutto

### 3. Datos del sinodal 1

Grado

Nombre (s)

Apellido paterno

Apellido materno

### 3. Datos del sinodal 1

Dr

Josué Orlando

Ramírez

Jarquín

### 4. Datos del sinodal 2

Grado

Nombre (s)

Apellido paterno

Apellido materno

### 4. Datos del sinodal 2

Dr.

Marco Antonio

Guarneros

Roniger

5. Datos del sinodal 3

Grado

Nombre (s)

Apellido paterno

Apellido materno

5. Datos del sinodal 3

Mae.

Luis Xavier

Sandoval

García

6. Datos del sinodal 4

Grado

Nombre (s)

Apellido paterno

Apellido materno

6. Datos del sinodal 4

M. en C.

Tania

Hernández

Chetrerquin

7. Datos del trabajo escrito

Título

Número de páginas

Año

7. Datos del trabajo escrito

Efecto de la escala espacial en el desempeño  
de la conducta de búsqueda en niños.

60 páginas

2017

## **Agradecimientos**

A la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México.

Al Instituto de Investigaciones Biomédicas de la Universidad Nacional Autónoma de México.

Al Dr. Marcos Francisco Rosetti Sciutto por recibirme como su estudiante y apoyarme con todo lo que fue necesario desde un inicio, las discusiones enriquecedoras, su dirección y paciencia para esta investigación.

Al Maestro Florencio Valdez Maltos, porque sin su ayuda no se habría concluido este trabajo.

A los Doctores Josué Orlando Ramírez Jarquín, Marco Antonio Guarneros Roniger y Robin Hudson; y a los Maestros Tania Hernández Chetriquin y Luis Xavier Sandoval García, por las revisiones y sus valiosos comentarios que potenciaron la calidad de este trabajo.

A Gerardo Aguirre y Mariana Fernández, por su apoyo y compañía en esta loca historia de vida.

A mis amigos Tania Lara, Ilse Esparza, Valeria Sánchez, Nicté Vitorín, Irvin Mendoza, Demian Ulloa, Sergio Jaime, Jesús Sánchez, Sofía Benítez, Eugenio Contreras, Ana L. García Mora, Diego Sierra; por estar ahí.

Por último, pero no menos importante, a: Yiatziri Valdez, Iván y Rodrigo Valdés, Abigail Peña, e Iliana Fernández.

*A Bertha Valdez Maltos*

*Porque sin ti no hubiese sido agente, sujeto, consecuencia o motivo de acción.*

*Porque no habría sido verbo en todos los tiempos, modos y aspectos.*

*Porque mi lingüística habría sido diferente,  
tanto en fonología como en morfología y sintaxis.*

*Porque un fragmento de ti soy,*

*porque eres parte de mí.*

*Porque en la danza fuiste*

*y porque en la danza soy.*

*Porque te ama, tanto como mí.*

*Porque si no hubieses sido, no sería yo,*

*Porque, a pesar de que ya no eres,*

*aún estás.*

*BV*

*“... We usually opt for one level of analysis exclusively, without considering the range of other alternatives.  
To judge from the literature this choice is a private act of faith, not to be reported publically.”*

*Mary Watson, 1978.*



## Índice

Hoja de Datos del Jurado.....	2
Agradecimientos.....	4
Índice.....	7
Resumen.....	9
Introducción.....	10
Antecedentes.....	11
1. Conducta.....	11
2. La conducta de búsqueda.....	11
2.1 ¿Que es la conducta de búsqueda?.....	11
2.2 Los distintos tipos de conducta de búsqueda.....	12
2.2.a Tiempo.....	13
2.2.b Tiempo y energía.....	14
2.2.c Tolerancia a los recursos: especialistas vs generalistas.....	14
2.3 Las distintas escalas de la conducta de búsqueda.....	15
2.4 La conducta de búsqueda en el ser humano.....	15
3. Espacio y percepción.....	16
3.1 Espacio-escala.....	16
3.2 ¿Cómo funciona la percepción del espacio?.....	17
3.3 Relación entre el espacio, los sentidos y la conducta.....	18
3.4 La relevancia del espacio en la vida del ser humano.....	18
4. Evaluación de la conducta de búsqueda en humanos.....	21
4.1 Edad y sexo.....	21
4.2 Métodos de evaluación de conducta espacial y sus críticas.....	23
4.3 Validez ecológica.....	24
4.4 Efecto de la escala sobre el desempeño.....	26
Objetivos.....	28
Metodología.....	29
Declaración de ética.....	29
Sujetos.....	29
Tabla 1. Distribución de los sujetos para la prueba de búsqueda.....	30

<i>Versión Cancha</i> .....	31
<i>Versión de Piso</i> .....	32
<i>Versión de Mesa</i> .....	32
<i>Versión de Computadora</i> .....	33
Tabla 2. Resumen de las escalas.....	36
En esta tabla se simplifica la información de cuáles son las dimensiones de escala del área de búsqueda y los recursos utilizados en las tres diferentes áreas de búsqueda y el tiempo límite.....	36
<b>Procedimiento</b> .....	37
<b>Análisis</b> .....	38
<b>Descripción de la muestra</b> .....	39
<b>Efectos de la escala en el desempeño</b> .....	40
Tabla 3. Escala .....	40
<b>Escala, edad y sexo</b> .....	43
<b>Discusión</b> .....	46
<b>Desempeño general</b> .....	46
<b>Edad y diferencias de sexo</b> .....	47
<b>Desempeño y escala</b> .....	48
<b>Conclusión</b> .....	51
<b>Referencias</b> .....	52
<b>Cuestionario</b> .....	57
Tabla 4. Resultado de la ANOVA para la escala, edad, sexo y sus interacciones. ....	58
Tabla 5. Coeficientes de regresión.....	58
Tabla 6. Comparaciones múltiples para las interacciones entre escala y sexo. ....	59

## Resumen

Los procesos de decisión involucrados en la conducta de búsqueda con frecuencia se asumen como similares a pesar de las diferencias de las situaciones en las que los sujetos deben buscar, por ejemplo, en las dimensiones espaciales. Sin embargo, muchos de los procesos sensoriales y motrices de las tareas de búsqueda en situaciones de la vida cotidiana, configuraciones experimentales o pantallas de computadora usualmente no son tomados en cuenta. En este estudio se presentan los resultados de la evaluación del desempeño de tres grupos de niños, agrupados por edades (6–7, 9–10, 11–12 años,  $n = 260$ ), en una serie de configuraciones experimentales para las que se requirió la búsqueda de objetos escondidos bajo contenedores opacos, de tal forma que los niños debían levantar las cubiertas para encontrar y coleccionar los objetos que se encontraban debajo. En una serie de 4 configuraciones, la escala del área de búsqueda de (1) una cancha de fútbol de 50 x 70 m se redujo a (2) un piso de cemento de 5 x 7 m, (3) a la superficie de una mesa de 50 x 70 cm (4) y finalmente a un juego de computadora que simulaba las proporciones de la cancha de fútbol. Se evaluaron métricas normalizadas reflejando la distancia lineal recorrida entre colectas, el número de colectas realizadas, la tasa de colecta y el número de errores cometidos (ocasiones en que el sujeto levanta una cubierta visitada con anterioridad). Se observó que el desempeño de los sujetos mejoró con la edad, mostrando que varias de las versiones escaladas del paradigma tenían suficiente sensibilidad como para reflejar mejorías con la edad; sin embargo, también se encontró que el desempeño era mejor y tenía mayor similitud entre las versiones tangibles de la prueba, mientras que el desempeño era significativamente más pobre cuando los sujetos buscaban en la versión virtual de la prueba. Con estos hallazgos, se discutieron las diferencias y similitudes entre las condiciones, el efecto de la edad y las consecuencias del uso de simulaciones computacionales como método de evaluación de la conducta.

## Introducción

¿Cómo es que la escala espacial afecta la forma en la que un individuo interactúa con el medio ambiente? En la vida diaria, se resuelve un sin número de problemas a diferentes escalas tales como pasear por la ciudad o hacer búsquedas en Internet. Pero, ¿Son similares los procesos conductuales utilizados para resolver una tarea particular en una escala similar o son comparables a aquellos que se utilizan en las tareas realizadas a más grandes o pequeñas escalas? Ésta es una pregunta fundamental para aquellas áreas de investigación que utilizan tareas a pequeñas escalas como una aproximación a eventos que suelen ocurrir a escalas mayores.

En el siguiente trabajo, se utilizó un sistema experimental simple que implica la búsqueda de objetos debajo de contenedores opacos para explorar cómo sistemáticamente al modificar la escala podría alterarse la forma en la que los sujetos resuelven una tarea.

En un trabajo anterior (Rosetti et al., 2016), se utilizó este procedimiento para evaluar la conducta de búsqueda de los niños con déficit de atención e hiperactividad (TDAH), utilizando una superficie de grandes dimensiones, de fácil comprensión y acceso para los individuos evaluados, ecológicamente válida; empero

## **Antecedentes**

### **1. Conducta.**

Levitis *et al.* (2009) definen a la conducta como toda la acción o inacción realizada por un organismo que modifique su relación con el ambiente en respuesta a estímulos internos y externos, excluyendo a aquellos cambios relacionados con el desarrollo del individuo. Un aspecto central de esta definición es la acción – la conducta implica aspectos observables que el organismo realiza sobre su ambiente. El llevar a cabo una acción (o una inacción) corresponde a una decisión que implica la integración de estímulos, costos y beneficios energéticos. Estas acciones son centrales para la vida del organismo, ya que es a través de éstas que puede obtener recursos, encontrar pareja y reproducirse, sobrevivir a depredadores, migrar, etc. Una conducta que resulta en movimiento tiene lugar en un tiempo y un espacio – conceptos relacionados con prácticamente toda la vida en la tierra. A pesar de lo fundamental que son estos procesos, como se verá más adelante, no son triviales de clasificar o de comprender.

### **2. La conducta de búsqueda**

#### **2.1 ¿Que es la conducta de búsqueda?**

A primera instancia podría obviarse la descripción de esta conducta y lo que ésta conlleva, empero no es una conducta sencilla de definir o describir, no existe una definición única ya que existen diferentes tipos de búsqueda, pero podría decirse a rasgos muy generales lo siguiente: La conducta de búsqueda se refiere a una actividad de movimiento mediante la cual un ser vivo encuentra o intenta encontrar algún recurso (Bell, 1991), aunque también se puede incluir en esta definición el importante papel que tiene el azar, agregando en la definición la intención de localizar un objetivo en condiciones de incertidumbre (Todd, Hills, y Robbins, 2012). Es, probablemente, uno de los tipos de conductas más importantes en el mundo animal, pues es la que permite que todo ser vivo (con capacidad de movimiento) pueda localizar alimento, una pareja reproductiva o un refugio, es la conducta que permite a los animales encontrar un nuevo hábitat en donde

haya una menor competencia por los recursos, aumentando así la posibilidad de incrementar su adecuación (Bell, 1991).

La búsqueda es una conducta común que puede tener lugar en diferentes escalas espaciales, en escenarios de diferentes dimensiones, pero puede implicar un conjunto similar de normas. Esta conducta es resultado de la confluencia de tres características: la habilidad locomotora y perceptiva de los individuos para desarrollarse en el ambiente; la disponibilidad de recursos así como el riesgo que implica el obtenerlos, esto incluye a los animales que compitan por el mismo recurso, depredadores a demás de los factores abióticos que influyan en la obtención del recurso.

Por último están los factores internos (p.e. la capacidad de adaptación de las especies a cambios ambientales a largo plazo). La conducta de búsqueda se ha examinado cuidadosamente debido a su importancia ecológica (interacciones extra e intraespecíficas dentro de un nicho) y evolutiva (adaptaciones al medio, trade-off costo-beneficio, coevolución, reproducción). Se han descrito primordialmente los principales tipos de búsqueda cuestionando el desempeño, la eficiencia de las estrategias de búsqueda, a demás de la toma de decisiones y los procesos cognitivos utilizados que podrían tener un costo en la adecuación de los individuos (Alcolck 2009; Rosetti et al. 2010).

## ***2.2 Los distintos tipos de conducta de búsqueda***

Cada especie ha desarrollado diferentes estrategias de búsqueda según sus necesidades y capacidades para lograr obtener esos recursos. Bell (1991) menciona la posibilidad de tener una base genética en la conducta de los organismos, esperando que en ésta opere la selección natural en las variables sean cuales sean las que intervengan en el procesamiento de percepción y movilidad; partiendo de estas bases, las especies desarrollan diferentes estrategias y habilidades incrementando su eficiencia para completar la tarea de obtener el recurso. Para lo cual, es importante mencionar que existen tres

importantes variables o factores (limitantes internas) relacionadas con su desempeño en esta tarea: movilidad de la especie; tiempo y energía destinados a la tarea, pues determina los mecanismos que utilizará el organismo; y el grado de tolerancia que tenga el organismo para un recurso dado.

### 2.2.a Tiempo

Las especies pueden ser clasificadas cualitativamente de acuerdo al tiempo que gastan moviéndose al adquirir algún recurso, en especial la comida. La proporción de tiempo invertido para la localización de comida en los animales varía de una especie a otra p. e. los pequeños homeotermos con una alta demanda de energía, pasan la mayor parte de su vida buscando su alimento; en estos casos la fuente de alimentación es de menor tamaño en proporción con el consumidor. Por otro lado, a los herbívoros al igual que a los ungulados les toma menos tiempo el buscar su comida. Se han descrito dos grandes estrategias para conseguir alimento, la primera estrategia es en la que los animales buscan activamente su alimento, se mueven a través de su medio ambiente, éstos son llamados *widely foregin (WF)*, por consiguiente, requieren de un gran periodo de descanso, generalmente se especializan en presas sedentarias o de un rango alto de distribución (Bell, 1991).

La segunda gran estrategia es la de aquellos animales que en un estado de quietud se “sientan” a esperar a su presa, de ahí el nombre de esta estrategia: *sit and wait (S&W)*, podría decirse que el ambiente es el que se mueve, por lo que requieren de periodos cortos de descanso, normalmente se especializan en presas de alta movilidad y densidad. Existe otro tipo de estrategia que es una combinación de éstas dos, en la cual los animales pasan algunos periodos buscando activamente y otros en los que permanecen inmóviles. Los humanos se podrían considerar en este último grupo, moviéndose en ocasiones grandes distancias para obtener recursos de manutención (recolecta) y en otras ocasiones colocando trampas y esperando (caza).

### 2.2.b Tiempo y energía

El segundo factor a considerar es el tiempo que los individuos utilizan en buscar sus recursos, el tiempo que éstos ocupan para manipularlos, principalmente en los recursos alimenticios, pues estas dos etapas (búsqueda y manipulación o manejo de recursos) están compuestas de algunas faces intermedias, como lo son el acecho de una presa, el control que deba ejercerse sobre ella, su ingesta y digestión; y los costos energéticos que estas actividades conlleven, pues éstos deben ser balanceados para que la tarea sea de beneficio para el organismo. Tomando en cuenta el factor tiempo-energía, se clasifica a las especies de acuerdo a si son minimizadores/economizadores de tiempo (org. en ingl. *time- minimizers*) quienes requieren de una ingesta de energía básica y una vez que ésta es cubierta dejan de buscar y usan el resto del tiempo para otras cosas; y están aquellas especies que son maximizadoras energéticas (org. ingl. *energy - maximizers*) que son las que tratan de obtener tanta energía como sea posible.

### 2.2.c Tolerancia a los recursos: especialistas vs generalistas

Un tercer factor que influye en el tipo de búsqueda que realizará el animal es la capacidad que éste tenga para reconocer y utilizar los recursos que puede consumir. Muchos organismos tienen restricciones sobre lo que pueden consumir (especialistas) ya que han co-evolucionado cercanamente con su recurso, que comúnmente tiene alguna dificultad de procesamiento que lo hace de difícil localización o consumo. Otros organismos han desarrollado la capacidad de procesar un gran número de recursos, manteniendo pocas restricciones y desarrollando una capacidad de procesamiento general. Se espera que las estrategias de búsqueda presentadas por ambos grupos sean coherentes con las estrategias de tolerancia que los organismos han desarrollado. En esta ocasión, también existe un gradiente, donde los organismos pueden tener recursos predilectos, pero son capaces de tolerar productos en un rango más amplio de ser necesario.

### **2.3 Las distintas escalas de la conducta de búsqueda**

La conducta de búsqueda también integra aspectos de percepción espacial y de escala, temas que serán abordados a profundidad en la siguiente sección. Un par de aspectos importantes a mencionar son que un organismo puede involucrarse en conductas de búsqueda en más de una escala. Algunos organismos pequeños pueden desplazarse a través de distancias que son muchas veces su tamaño y de las que probablemente no tienen concepción real (como los humanos, a través de un mapa), mientras que otros organismos tienen no solo la capacidad de desplazarse en grandes distancias, si no también de poder buscar con detalle en un área reducida. Cuando se representa a la conducta de búsqueda como una trayectoria en el espacio, se pueden ver similitudes estadísticas entre los patrones que ocurren a distintas escalas, lo cual sugiere estrategias similares y podría implicar también, mecanismos de decisión generales entre escalas distintas. En el caso del humano, un organismo que tiene un enorme rango de escalas con trascendencia, esto resulta de particular importancia científica, sobre todo en aspectos de evaluación de la conducta y simulaciones.

### **2.4 La conducta de búsqueda en el ser humano**

Es posible imaginar, por ejemplo, las diferencias y similitudes de los siguientes escenarios de búsqueda que se producen a diferentes escalas: recolectores de hongos que realizan búsquedas en laderas de un volcán, tratando de encontrar una lista de artículos en el supermercado, a la búsqueda de un utensilio en particular dentro de un cajón de la cocina repleta o a la búsqueda de la ubicación deseada en un mapa en línea. Estas situaciones implican diferentes componentes motores y perceptivos que son afectados por la escala, la experiencia y la pertinencia. Por otra parte, estas situaciones se pueden formular en componentes similares, tales como la trayectoria de búsqueda, una serie de puntos de recogida, así como la posibilidad de cuantificar de acuerdo a su relación costo-beneficio.

Otras peculiaridades de los procesos de búsqueda que tienen lugar en los entornos generados por humanos son las que tienen características geométricas sobresalientes y la ubicación de elementos precede a ciertos supuestos. Algunos ejemplos en los que una búsqueda sistemática puede ser de utilidad son los siguientes: cuando se trata de localizar un libro en un estante de la biblioteca, buscando en los cajones de una cómoda, etc. En estas situaciones, ciertas características del entorno pueden proporcionar pistas sobre la estrategia de búsqueda a seguir - donde para empezar, lugares que han sido visitados antes, la forma de reducir al mínimo la trayectoria de búsqueda. Por ejemplo, el punto de hipótesis de anclaje (Couclelis et al., 1987) sugiere que algunos aspectos del medio ambiente pueden tener alguna característica en particular (visualmente saliente, ecológicamente relevante, etc) especialmente útil para fijación de los elementos de un mapa cognitivo (anclaje). Si estos puntos de anclaje están relacionados con la estructura geométrica del ambiente, pueden generar una búsqueda sistemática. Esto se observa, por ejemplo, al hacer un escaneo organizado, usando el anclaje hasta encontrar el artículo deseado.

Muchas evaluaciones psicométricas y neuropsicológicas incorporan pruebas, como la tarea clave de búsqueda (Wilson, et al., 1998) o la detección visual (Ostrosky-Solís et al., 1998), donde el desempeño en la tarea puede verse beneficiado si ésta es resuelta mediante una búsqueda ordenada.

### **3. Espacio y percepción**

#### **3.1 *Espacio-escala***

Cualquier conducta ocurre en un espacio determinado y a pesar de la estrecha relación de la conducta con el espacio, no hay una definición única aplicable a todas las disciplinas. Puede adoptarse una perspectiva de la física mecánica, donde el espacio es el lugar donde se encuentran los objetos y en el que los eventos que ocurren tienen una posición y dirección. Según Isaac Newton (French y Ebison, 1986; Carnap, 1995), el espacio era absoluto, en el sentido de que era permanente y existía independientemente de la materia.

En cambio, Gottfried Leibniz (Vailati, 1997) pensaba que el espacio era una colección de relaciones entre objetos, dada por su distancia y dirección. Emmanuel Kant (Carnap, 1995), consecuente con la filosofía idealista, describió el espacio y el tiempo como realidades *a priori*, es decir, existentes sólo en la mente humana, no fuera de ella, que permiten estructurar experiencias.

Sin embargo, se puede concretar que el espacio es un conjunto de elementos físico-temporales en el que se localiza algo (un lugar, objeto, organismo o donde ocurre algún fenómeno, p. e.: un ecosistema), cuyas dimensiones van a estar limitadas por una escala geográfica, la cual va a funcionar temporalmente de forma cuantitativa o analítica para estudiar a aquello que se encuentra en él (Gibson *et al.*, 2000). La escala va a permitir entender aspectos clave del lugar y las características que presenta, pues ni los fenómenos ni los procesos que ocurren a cierta escala necesariamente pueden ser inferidos a partir de los que prevalecen en otras escalas (Ruiz y Galicia, 2015).

### **3.2 ¿Cómo funciona la percepción del espacio?**

El espacio, en términos físicos, y el espacio, desde el punto de vista de un individuo, ciertamente guardan una relación. En este sentido, el espacio biológico es un tanto más complejo que el espacio físico, puesto que no solamente se trata de relaciones entre distancia, dirección y orientación, sino que también incluye aspectos de las relaciones entre los elementos involucrados.

Otro aspecto importante es que la definición física del espacio incluye sobretodo propiedades observables de éste, mientras que no todos los organismos construyen su percepción del espacio mediante la visión y en muchos casos, el espacio combina aspectos de varios sentidos con el aprendizaje resultante de experiencias previas.

La manera en que un organismo percibe su espacio tiene una fuerte relación con los aspectos que son ecológicamente relevantes para su vida. Los organismos son capaces de percibir y juzgar distancias

con gran precisión, aún sin un sistema numérico de cualificación, si estos aspectos son relevantes para ellos.

### ***3.3 Relación entre el espacio, los sentidos y la conducta***

Los individuos construyen su percepción del espacio combinando lo que capturan sus sentidos con el aprendizaje en experiencias previas o predisposiciones obtenidas a través de diferentes procesos biológico-sociales, como la selección natural. Estos elementos explotan los aspectos no aleatorios del mundo para crear expectativas sobre la distribución de los recursos, la presencia de depredadores, lugares adecuados para resguardarse, etc.

Dentro de los procesos mnemónicos que se han teorizado se encuentra la formación de mapas mentales, contruidos a partir de eventos o lugares conspicuos o relevantes del espacio dónde se desarrolla la conducta. Dividir la concepción del espacio entre lo percibido y lo recordado resulta en una dicotomía imperfecta (Downs y Stea, 1973), hecho que será evidenciado más adelante.

### ***3.4 La relevancia del espacio en la vida del ser humano***

En el caso del ser humano, existe una relación particularmente con el espacio. En la vida diaria, se realizan tareas que involucran una conducta espacial a muy diferentes escalas. La escala afecta a la forma en que las personas perciben y entienden el medio ambiente que les rodea. Un ser humano puede percibir el arreglo de letras sobre una hoja y organizar sus movimientos para leer el texto; se puede tocar una parte del cuerpo sin que visualmente tenga una referencia, puede describir cómo llegar de un sitio a otro, orientarse y navegar en el espacio valiéndose de múltiples referencias ambientales y puede crear representaciones del espacio mediante mapas.

El espacio geográfico o cartográfico es capaz de representar aspectos del ambiente que de otra forma no podrían percibirse en el día a día, tales como las cordilleras, ríos y lagos. Muchas culturas han creado mapas desde tiempos muy antiguos, cuando no existían los medios de observar el espacio desde el aire o imágenes satelitales. Desde muy pequeños, los niños son capaces de interpretar y seguir información en forma de mapa. Las similitudes entre el uso de mapas en distintas culturas y el hecho de que es una conducta que parece tener elementos no aprendidos, presentes desde la infancia temprana, ha llevado a algunos autores a sugerir que se trata de un universal cognitivo humano (Blaut, McCleary, & Blaut, 1970; Blaut, et al 2003; Stea, Blaut, & Stephens, 1996).

De hecho, el estudio de la relación humana con el espacio es tan importante que, a mediados del siglo XX, se creó una disciplina que combina aspectos de biología, geografía y psicología en la llamada “psicología ambiental” y se encarga de estudiar cómo es que el humano utiliza y comprende el espacio en las escalas humanas. Los psicólogos analizan la percepción del espacio en lo relacionado a cómo se reconoce un objeto físico o se perciben sus interacciones. La percepción de los alrededores es importante debido a su relevancia necesaria para la supervivencia, especialmente con respecto a la caza y la autoconservación así como para la idea del espacio personal.

Si la tarea en cuestión es lo suficientemente pequeña (en relación al tamaño promedio de un humano), es posible que se pueda atender a todos los elementos con sólo pequeños movimientos de los ojos o la cabeza, mientras que si los elementos que intervienen están dispuestos en un espacio más grande en los que se pueden percibir de forma simultánea, se tendría extrapolar el uso de algunos elementos de la experiencia o la memoria. Algunas entidades sólo podrán tener sentido a la distancia, como una montaña o una isla, pues no podrían ser percibidas desde cerca (p. e., es posible que uno no se sepa que se está en una montaña o en una península si no se tiene una referencia externa de ella). En

este sentido, los espacios grandes pueden ser tratados como espacios pequeños si se perciben desde la distancia (Montello, 1993).

Tradicionalmente, una división ha marcado el campo es una dicotomía imperfecta resultante de la distinción aquellos aspectos que pueden ser percibidos y los que requieren una reconstrucción de la memoria. Downs y Stea (1973) ofrecen definiciones prácticas que ayudan a distinguir dos componentes principales en dónde la percepción es:

*"... un proceso que se produce debido a la presencia de un objeto, y que da como resultado la aprehensión inmediata de ese objeto por uno o más de los sentidos..."*, mientras que la cartografía cognitiva es *"... un proceso compuesto por una serie de transformaciones psicológicas por el cual un individuo adquiere códigos, almacena, consulta y decodifica la información acerca de las ubicaciones relativas y los atributos de los fenómenos en su entorno espacial cotidiana..."*.

En este sentido, es evidente que la interacción con el medio ambiente a menudo requiere aspectos de la experiencia.

Otro trabajo en el que se propuso una clasificación del espacio es en el de Montello (1993), quien prevé una clasificación más gradual de éstos (*figurativo, de vista, ambiental y geográfico*), trabajo que está basado en la cantidad de espacio con relación al tamaño del cuerpo humano. El figurativo se refiere a un espacio más pequeño que el cuerpo, sus propiedades pueden percibirse desde un punto sin necesidad aparente de locomoción (fotos, objetos pequeños, puntos distantes); de vista, es el espacio que es igual (o un poco más) grande que el cuerpo, cuyas propiedades al igual que el anterior, pueden ser percibidas desde un solo lugar. En cambio, el ambiental tiene un tamaño considerablemente más grande que un cuerpo humano y para poder conocer sus propiedades se requiere de una locomoción considerable para integrar la información que proporciona; el espacio geográfico, a diferencia de los anteriores no puede ser

conoció directamente, sino que para poder conocerlo se deben realizar representaciones del mismo: mapas y modelos, por ejemplo.

Por otro lado, Tversky (1999) sugirió una clasificación egocéntrica de espacio la cual involucra las distorsiones introducidas por el movimiento. Estos ejemplos de taxonomía del espacio en el campo, ilustran la complejidad existente en la comprensión de la influencia que hay en escala y su relación con el medio ambiente.

#### **4. Evaluación de la conducta de búsqueda en humanos**

##### **4.1 Edad y sexo**

La percepción y reconocimiento del espacio requieren de habilidades cognitivas que son desarrolladas y re-aprendidas durante las primeras etapas del desarrollo de los individuos, Piaget teorizó en el desarrollo estas habilidades cognitivas y propuso algunos esquemas de organización mental que controlan la conducta, éstos son utilizados para representar al mundo y designar una acción, funcionan junto con el ambiente como un control biológico regulado por la adaptación (Huitt et al., 2003).

Existen dos tipos de esquemas: con los que se nace (reflejos) y los esquemas construidos que generalmente remplazan a los primeros por medio de dos procesos adaptativos: la asimilación y la acomodación, ambos ocurren de forma simultánea y alternadamente. La asimilación se refiere a cuando la transformación del ambiente puede ser colocada en estructuras cognitivas preexistentes mientras que, la acomodación, cambia las estructuras cognitivas con la finalidad de aceptar la nueva información; entre más complejas sean las estructuras, tenderán a una organización jerárquica de generales a específicas (Huitt et al., 2003).

Con base en estos esquemas, Piaget propone cuatro etapas de desarrollo cognitivo: en un inicio está la etapa sensorimotora, la cual ocurre en la infancia y su desarrollo se da a conocer por la actividad

motora, es limitado pues depende en gran manera de las interacciones y experiencias físicas, éstas a su vez, permiten que el infante comience a desarrollar habilidades intelectuales de forma básica, como el habla; la etapa pre-operacional que ocurre en infantes de entre 1 y 3 años, su desarrollo se basa en el uso de símbolos, el lenguaje, la memoria y la imaginación se desarrollan con un pensamiento egoísta pero no lógico ni reversible. La tercera etapa, operacional concreta, ocurre en la niñez y pre-adolescencia, en donde las habilidades cognitivas se muestran con la manipulación lógica y sistemática de símbolos relacionados a objetos concretos, las acciones mentales son reversibles y disminuye el pensamiento egocéntrico; y por último, la etapa operacional formal desarrollada durante la adolescencia y adultez, en ella, el uso de símbolos es lógico en conceptos abstractos, regresa el pensamiento egocéntrico y solo el 35% de la población de países industrializados logra el pensamiento operacional formal, pues mucha gente no piensa formalmente durante la edad adulta.

Acerdolo (1977) realizó diferentes estudios con niños de tres y cuatro años de edad utilizando como referencia la segunda etapa de desarrollo cognitivo propuesta por Piaget, en la cual se demostró que los niños tienen la habilidad de orientarse en el espacio, aun careciendo de habilidad para combinar diferentes perspectivas (egocéntrica e independiente a ellos: objetiva); un modelo de espacio que puede ser visto completamente desde un solo punto de vista puede no ser el mismo que el que opera en un espacio real, rodeando e incluyendo al individuo como uno de los objetos en el espacio (Piaget & Inhelder, 1967; Meyer, 1940) y la ausencia de orientación se puede deber desde el intento que hacen para aprender de él hasta el intento por escapar del lugar; sin embargo, les resulta muy sencillo familiarizarse con nuevos espacios.

En cuanto a los sexos, Galea & Kimura (1993) y Moffat *et al.* (1998) demostraron que los hombres poseen una ventaja significativa (mayor rapidez y más acertadamente) frente a las mujeres al aprender nuevas rutas en un ambiente desconocido, en otros estudios se encontró que el desempeño de los

hombres era mejor que el de las mujeres cuando se trataba de manipular y transformar figuras geométricas y formas en el espacio (Hampson & Kimura, 1992). Pero es importante señalar que diferentes pruebas espaciales requieren de sistemas de procesamiento espacial diferentes en lo que se refiere a orientación y visualización espacial (Moffat *et al.*, 1998). También se sustenta que existe una base evolutiva en estas diferencias de sexo marcadas en por el ambiente (Gaulin & Fitzgerald, 1986), tales como la división de labores, en la que el hombre es quién caza en un espacio relativamente grande, creando la presión de mejorar las habilidades espaciales que podrían ser utilizadas para la navegación en un rango amplio (Gaulin & Hoffman, 1988).

#### **4.2 Métodos de evaluación de conducta espacial y sus críticas**

Se han utilizado tradicionalmente pruebas neuropsicológicas denominadas “de escritorio” las cuales son elaboradas en espacios cerrados, con una duración estimada de 30 a 60 min, pruebas de múltiples reglas y objetivos abstractos lejanos a la realidad en la que ocurre la conducta a evaluar además de una constante vigilancia de los evaluadores. Al ocurrir en un escritorio, normalmente no se toma en consideración los componentes sensoriales y motrices más destacados como el traslado de un lugar a otro, la percepción espacial; aun cuando estas pruebas “simulen” aspectos conductuales donde el componente sensorimotor es central como en la conducta de búsqueda, dando por hecho que la conducta del individuo y los elementos presentes en el test son independientes de la escala (Moffat *et al.*, 1998; Montello, 1993). Por ello, desde muy temprano en la disciplina, múltiples autores han criticado el uso de papel en pequeña escala de una tarea de lápiz argumentando que éstos son malos predictores del desempeño en el comportamiento espacial en situaciones del mundo real (Herman & Siegel, 1977; Moffat *et al.*, 1998).

Desde entonces, muchos estudios han explorado la relación entre las tareas de laboratorio (Malinowski, 2001; Malinowski & Gillespie, 2001), las representaciones virtuales de espacio (Lloyd *et al.*,

2009; Moffat *et al.*, 1998; Richardson *et al.*, 1999; Waller, 2000; Witmer *et al.*, 1996) y las escalas (Hegarty *et al.*, 2002; Hegarty *et al.*, 2006) con las habilidades espaciales del mundo real.

Estos son aspectos centrales en el campo, ya que muchos hallazgos, tales como las diferencias de sexo en el comportamiento espacial (Lawton, 1994; Montello *et al.*, 1999), o cómo estas habilidades se desarrollan en los niños (Wellman *et al.*, 1979) se han encontrado utilizando simulaciones a pequeña escala de los entornos del mundo real. Además, versiones reducidas o de realidad virtual, implican una cantidad reducida de retroalimentación motora, y a menudo se utilizan para proporcionar situaciones de formación en medicina (Gallagher *et al.*, 2005; Moffat *et al.*, 1998; Tendick *et al.*, 2000) y el personal del ejército (Smith, 2010) lo cual resulta en la disminución en la validez ecológica de la prueba.

#### **4.3 Validez ecológica**

La validez ecológica se refiere al diseño de pruebas que reflejan el entorno real del sujeto, dichas pruebas deben realizarse en el contexto de la situación real que se desea evaluar, debe ser conocido por el sujeto que la va a realizar. El objetivo de la prueba será correspondiente con los intereses del individuo y la tarea a realizar tendría una relación con las actividades cotidianas del mismo.

Una prueba válidamente ecológica debe incluir en sus criterios de diseño la utilización de pocas reglas, debe tener diferentes alternativas para llegar a la solución del problema planteado, además debe de tener, preferentemente, una retroalimentación positiva basada en un aspecto lúdico sin dejar de lado la retroalimentación sensorial y motriz involucrada en la conducta. Por ejemplo, las pruebas de búsqueda están basadas en un fenómeno común: la búsqueda, sin embargo, su evaluación inicia en las pruebas de escritorio y en los últimos años se han realizado en espacios más grandes. Algunos ejemplos de estas pruebas son: el software de computadora desarrollado por Czienskowski (2005) “*The Word Puzzle Experiment*”, en el que el participante debe utilizar el cursor para pescar tiburones (Fig. 1A).

La prueba propuesta por Gilchrist *et al.* en el 2001 para evaluar el componente visual en la conducta de búsqueda en adultos, consistiendo en la búsqueda de canicas dentro de carretes de fotografía con una distribución determinada, esta prueba es realizada en un cuarto de dimensiones pequeñas, por lo que el aspecto motriz de la conducta se ve restringido (Fig.1B).

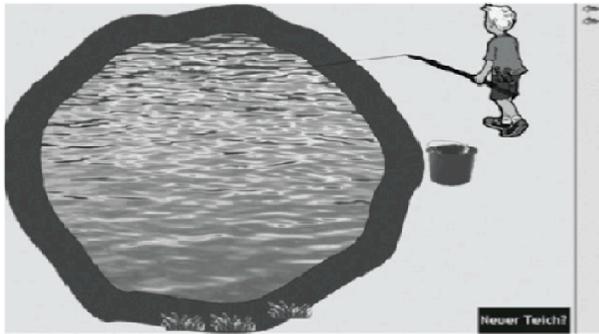
La prueba propuesta por Smith et al (2005) evalúa los componentes de exploración desarrollados en la conducta de búsqueda en niños, realizada en una habitación de 4x4m con una cuadrícula sobre el piso, de apagadores y luces de dos colores (verdes y rojas), la prueba consta de dos partes: en la primera, oprimir los apagadores con la mano dominante; la segunda, en oprimir los apagadores con la mano contraía, los participantes debían encender las luces de color verde (Fig. 1C).

Como último ejemplo está la prueba de búsqueda con conos y pelotas (BSFT, por sus siglas en inglés), la cual utiliza pocas reglas y existen diferentes maneras para concluir la tarea, que está basada en un juego conocido por los participantes (búsqueda de huevo de pascua, las escondidas) incluye una retroalimentación sensorimotora, se realiza en una cancha de 50x70m cuyos recursos pueden colocarse en diferentes distribuciones (Rosetti et al. 2010).

Esta prueba, permite evaluar no sólo el desempeño en la búsqueda, sino que también proporciona información de los participantes como la edad y si tiene algún tipo de patología psiquiátrica o física, sin embargo, la prueba tiene ciertas desventajas pues requiere de un espacio de amplias dimensiones para cuyo registro de actividad se requiere de un GPS. Es una prueba diseñada para niños de entre 5 y 11 años pues se ha demostrado que la prueba no muestra diferencias significativas en individuos mayores a los 12 años y no se les ha aplicado a niños con una edad menor a los 5 años (Rosetti et al. 2010). Si se evaluara la conducta de búsqueda a diferentes escalas, partiendo de una prueba ecológicamente válida como la prueba BSFT ¿Habría alguna diferencia en el patrón de desempeño al disminuir la escala en la que ocurre la prueba? ¿El cambio en los patrones de desempeño sería direccional?

#### ***4.4 Efecto de la escala sobre el desempeño***

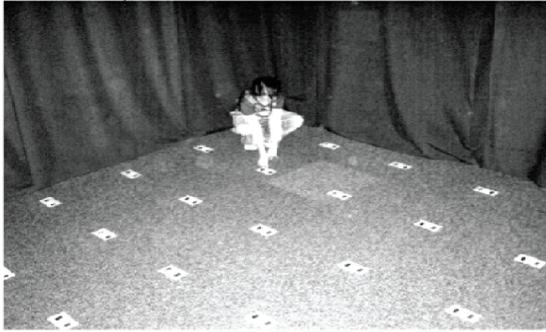
Para evaluar los efectos de la reducción gradual de esta tarea, que puede ser más conveniente para entornos de oficina o de laboratorio. Sin embargo, la reducción de la escala también reduce el componente sensoriomotor de la prueba, por lo que es potencialmente menos exigente. Para explorar esto, los niños fueron probados en una tarea de búsqueda presentada en cuatro escalas espaciales diferentes. En las dimensiones más grandes, la prueba se lleva a cabo en un campo de fútbol, donde los sujetos tienen que recoger artículos de contenedores debajo opacos. La misma tarea se escaló hasta el suelo de una habitación, así como un espacio superior de la mesa. Una versión de la computadora utiliza perspectiva en tercera persona para proporcionar la tarea de dimensiones similares a las del campo de fútbol, sino que requiere muy poca entrada del motor del sujeto. En todos los casos, se utilizó igualmente estímulos visuales sobresalientes y un fondo simple para minimizar las diferencias individuales. El principal objetivo de estos estudios es evaluar el efecto de la escala en el rendimiento. Así como explorar si las tareas a escala reducida son igualmente sensibles a los aspectos de desarrollo y capaz de identificar diferencias en el rendimiento en relación con el sexo.



A. Czienskowskj, 2005



B. Gilchrist, 2001



C. Smith, 2005



D. Pellicano, 2011



M.F. Rosetti et al. 2016

Figura 1. Se pueden observar los diferentes tipos de pruebas utilizados para la evaluación de la conducta de búsqueda. A Pantalla del software para computadora que evalúa la conducta de búsqueda (Czienskowskj 2005), B imagen que representa la prueba de evaluación del componente visual de la conducta de búsqueda (Gilchrist et al. 2001) y C, Versión moderna de Pellicano 2015 para evaluar niños con autismo y D Prueba de búsqueda para la evaluación del desarrollo de componentes de exploración (Smith et al. 2005)

## **Hipótesis**

- Se observarán cambios en los patrones de desempeño a medida que se vaya modificando la escala espacial del área de búsqueda.
- El desempeño de búsqueda mejorará con la edad.
- Habrá diferencias en el desempeño entre niños y niñas.

## **Objetivos**

- Observar y analizar la conducta de búsqueda en niños.
- Re-escalar la prueba de Búsqueda de Conos y Pelotas (Rosetti *et al.* 2016) de manera gradual, utilizando proporciones menores con respecto a las de la prueba original.
- Comparar los patrones de desempeño entre las versiones escaladas de la prueba de búsqueda.
- Evaluar el efecto de la edad y el sexo de los participantes.

## **Metodología.**

### ***Declaración de ética***

Para ambas muestras, se obtuvo permiso por parte de la comisión de bioética del Instituto de Investigaciones Biomédicas de la Universidad Nacional Autónoma de México para trabajo experimental con seres humanos y se siguieron los lineamientos de manejo establecidos por esta durante los experimentos. Se obtuvo consentimiento verbal de padres y autoridades escolares antes de realizar cualquier prueba o cuestionario.

### ***Sujetos***

Se trabajó con un total de 260 sujetos, provenientes de dos muestras de estudiantes. Para la primera muestra, se trabajó con estudiantes de una primaria del sur del Distrito Federal. Se reclutaron un total de 143 sujetos de entre 5 y 11 años de edad sin discapacidades aparentes. Los sujetos de esta muestra participaron en 3 de las 4 condiciones experimentales (Piso, Mesa y Computadora, las descripciones vienen abajo en la sección de *Pruebas*). En este caso, se reclutaron sujetos de tres grupos de edad (6 – 7, 9 – 10 y 11 – 12 años). El desempeño en una cuarta condición (Cancha, la descripción viene abajo en la sección de *Pruebas*), se obtuvo a partir de sujetos evaluados en una escuela primaria del sur del Distrito Federal. Esta muestra pertenece a un estudio previo (Rosetti *et al.*, 2016), de la cual solamente se tomó un subconjunto con equivalencia en los grupos de edad ( $n=117$ ). En todos los casos, se procedió a visitar los salones de clase para invitar a los estudiantes a participar en el estudio. Para crear una muestra aleatoria, se generaron números aleatorios, con los que se eligieron los sujetos a partir de una lista de asistencia. En cada grupo se intentó balancear la proporción de sexos. El número de sujetos en cada una de las condiciones experimentales se detalla en la Tabla 1.

Ningún individuo realizó la prueba más de una vez ni en más de una configuración.

<b>Tabla 1. Distribución de los sujetos para la prueba de búsqueda.</b>				
Edad (años)	Cancha	Piso	Mesa	Computadora
6 – 7	<i>n</i> =32, 46% niños	<i>n</i> =16, 50% niños	<i>n</i> =16, 50% niños	<i>n</i> =16, 43% niños
9 – 10	<i>n</i> =43, 44% niños	<i>n</i> =15, 40% niños	<i>n</i> =16*, 50% niños	<i>n</i> =16*, 50% niños
11 – 12	<i>n</i> =42, 52% niños	<i>n</i> =14, 50% niños	<i>n</i> =17, 52% niños	<i>n</i> =19, 53% niños

Tabla 1. Distribución de los sujetos para la prueba de búsqueda.

(\*) 3 sujetos (1 niño, 1 niña de la versión de Mesa y 1 niño de Computadora) fueron excluidos del análisis por un desempeño particularmente malo (>3 DS).

## ***Pruebas***

Para evaluar el efecto de la escala sobre el desempeño de búsqueda se utilizó una serie de cuatro tareas construidas utilizando diferentes dimensiones espaciales y que fueron intencionalmente diseñadas para disminuir gradualmente el componente motor necesario para resolver la tarea, desde desplazamientos de cuerpo completo en un campo de fútbol, hasta utilizar las flechas de un teclado para movilizar un carácter virtual en la pantalla de una computadora personal. Para cada una de estas tareas se utilizó el mismo arreglo espacial de objetos, pero de manera escalonada. Se modificó la extensión de la superficie, así como el tamaño de las cubiertas opacas utilizadas para esconder los objetos blanco. De igual forma, se modificaron los límites de tiempo asignados, intentando crear una equivalencia entre el tiempo para resolver la prueba y la dificultad de la misma, siempre permitiendo una gran ventana de tiempo para que los sujetos terminaran (de hecho, en todas las condiciones, el 90% de los sujetos colectó entre el 85 y 100% de los objetos blanco). Cada configuración experimental, en orden descendiente, fue configurada como se detalla a continuación:

### *Versión Cancha*

Esta versión se realizó sobre un área plana de 50 x70 m, en este caso una cancha de fútbol, sobre la cual fueron colocados 20 conos deportivos altamente visibles (14 cm de base y 28 cm de altura) en una distribución de cuadrícula, donde las columnas estaban separadas por 10 metros y las filas por 15 metros (Figura 2a). Debajo de cada uno de los conos había una pelota de golf blanca. El sujeto recibía una bolsa donde coleccionar las pelotas. Su trayectoria se registraba mediante un sistema de geo-posicionamiento en la muñeca (Garmin Forerunner 205, Garmin Ltd. EEUU), mientras que el orden y los tiempos de las colectas eran registradas por un par de observadores. El objetivo de la prueba es recolectar todas las pelotas. La prueba terminaba cuando el sujeto coleccionaba todas las pelotas o transcurrían 8 minutos. La prueba

reportada por Rosetti *et al.* (2016) utiliza esta versión de la prueba la idea de evaluar la conducta de búsqueda utilizando en una arena experimental de amplias dimensiones, y aunque de diseño sencillo, tiene suficiente sensibilidad para detectar cambios en el desarrollo, diferencias entre niños y niñas y un desempeño diferencial entre controles y sujetos diagnosticados con Trastorno por Déficit de Atención e Hiperactividad (Rosetti *et al.* 2016).

#### *Versión de Piso*

La primera versión escalada de la prueba reduce el área en una proporción 10:1. Para esto, se utilizó una superficie de cemento de 5x7 m (Figura 2b) en el patio de la escuela. Para ocultar los objetos que el sujeto debía coleccionar se utilizaron vasos opacos de plástico con forma de pirámide circular trunca (9.6cm de alto, 8.6 cm de diámetro en la apertura y 5.4 de diámetro en la base) los objetos a coleccionar fueron botones de aproximadamente 2.5cm de diámetro de color dorado. Se les dio a los sujetos una bolsa para guardar sus coleccionables. El desempeño de los sujetos fue filmado, utilizando una cámara de video y un trípode colocado en una de las esquinas de la arena, los videos de su desempeño se analizaron posteriormente. La prueba terminaba cuando el sujeto coleccionaba todos los objetos o después de transcurrir 3 minutos.

#### *Versión de Mesa*

El siguiente nivel de escala reduce la BSFT a una con proporción 100:1. Esta prueba se realizó sobre una mesa desmontable de plástico con medidas de 50x70 cm a una altura de 80 cm sobre el suelo, a una altura que los niños de todas las edades pudieran, cómodamente, tomar los contenedores y tener una visión del arreglo espacial de contenedores (Figura 2c). Se utilizaron pequeños envases de plástico opaco (2.5 cm de diámetro por 4 cm de altura). Como objeto de búsqueda se utilizaron botones. Aunque los botones son un poco más difíciles de levantar que las pelotas, un problema de pequeñas pelotas en una superficie plana es que estas ruedan podrían causar dificultades al preparar la prueba o al momento de ser realizada. Se

les dio a los sujetos una bolsa para guardar sus colectas. La secuencia de colecta se fue filmada con una cámara y tripié, colocados de manera tal que fuese posible filmar la conducta desde arriba. La prueba termina cuando el sujeto colecta todas las pelotas o al transcurrir 2 minutos.

### *Versión de Computadora*

En esta versión, el sujeto no interacciona directamente con los objetos del ambiente ni se desplaza para recolectarlos – en su lugar, opera un personaje virtual en tercera persona que debe colectar los objetos escondidos en un arreglo de 20 ostras organizadas en una cuadrícula sobre un área de pasto verde rodeado por escenarios tropicales (Figura 2d). En el ambiente virtual donde ocurre la tarea, las dimensiones del ambiente y el personaje guardan una proporción 1:1 con la versión Cancha.

La estética del personaje (un tigre antropomorfo) y del ambiente en el que se mueve (un área de pasto en una isla), así como de los contenedores opacos (ostras gigantes) fueron todos aspectos preseleccionados por la estética del juego *Towi*<sup>®</sup>, un juego de computadora para evaluar el desarrollo cognitivo en población infantil y diseñado para esta prueba. Para evitar que el sujeto saliera del juego y se dedicara a explorar el ambiente, se impuso un límite físico alrededor del área experimental mediante manipulaciones del paisaje, haciendo imposible que el personaje se moviera más allá de la arena experimental.

En uno de los lados, la arena termina en un bosque, otro termina en el mar, uno en montañas y el último en una planicie. Al inicio de la prueba el personaje se encuentra en uno de los extremos cortos de la arena. El personaje se mueve con las flechas del teclado y las conchas son seleccionadas para abrirse mediante la tecla espacio. Cuando una concha es visitada por primera vez, hay un efecto visual y auditivo que indica la recolección exitosa. Una recolección exitosa también produce que una perla aparezca sobre el contador en la parte superior de la pantalla. Las colectas siguientes van agregando iconos de perlas al contador. Se evitó la cuenta numérica de las perlas para mantener la similitud con las otras versiones de

las pruebas. Si la concha que se visita está vacía, se produce un efecto visual y auditivo normalmente asociado con un error.

Una peculiaridad de esta versión fue que, para evitar problemas con la falta de familiaridad con los controles del juego, se instituyó una breve sesión de prueba. En el tutorial, el sujeto tiene la oportunidad de interactuar con el ambiente virtual del juego. Se instruye al sujeto sobre las teclas correctas con las que movilizar al agente y con qué teclas llevar a cabo las colectas. Durante esta sesión, el sujeto debía de aproximarse a una de las conchas, presionar la tecla espacio para abrir la concha y coleccionar la perla. Así mismo, se le muestra en un ejemplo la retroalimentación negativa que se produce que al intentar coleccionar una concha vacía. Una vez que la sesión de prueba fuese completada con éxito, se podía comenzar la prueba. El juego automáticamente registraba la secuencia de colecta y la guardaba en un archivo de texto aparte. El juego terminaba una vez que el sujeto coleccionaba todas las perlas o una vez transcurridos 8 minutos.

Esta versión funciona en computadora personal y portátil, con una pantalla de 35.6 cm y sistema operativo Windows® 7. El software fue programado por los creadores de Towi® (Pixframe Studios, Ciudad de México).

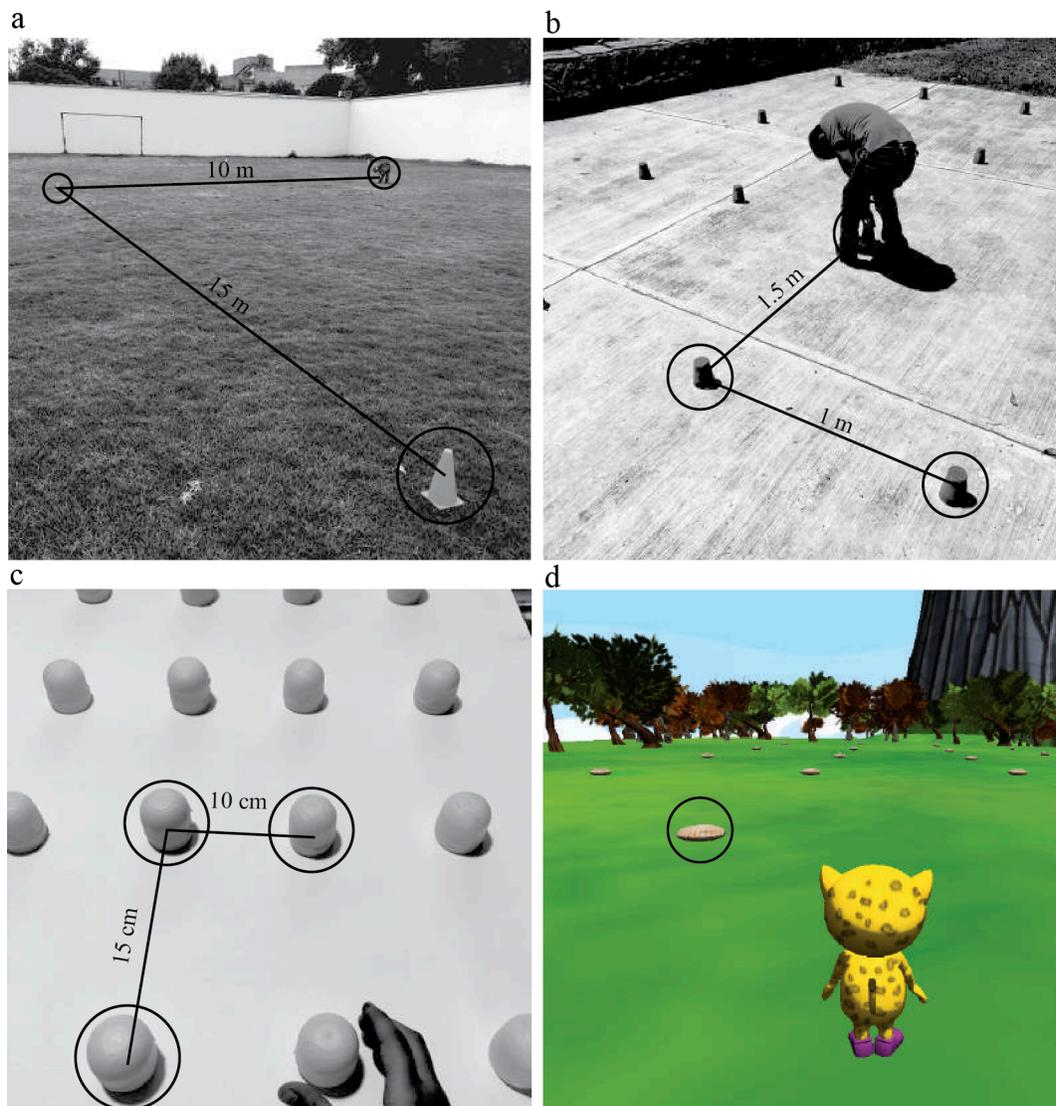


Figura 2. Pruebas de búsqueda. La configuración sobre la que el sujeto debe buscar en cada escala espacial: (a) *Cancha*: 20 conos deportivos en una distribución en cuadrícula sobre un campo de fútbol de 50 x 70 m, (b) *Piso*: 20 cubiertas opacas de plástico en una distribución en cuadrícula sobre una superficie de cemento de 5 x 7 m(c), *Mesa*: 20 cubiertas pequeñas sobre en una distribución en cuadrícula sobre una mesa plástica de 50 x 70 cm, (d) *Computadora*: La vista del sujeto sobre la pantalla de 35.6 cm. Los círculos muestran un ejemplo de una cubierta opaca para cada arreglo y las líneas en (a), (b) y (c) muestran la distancia entre filas y columnas de la cuadrícula.

Tabla 2. Resumen de escalas					
Versión	Dimensiones	Escala	Contenedores	Objeto de búsqueda	Tiempo
Cancha	50 x 70m	1:1	Conos deportivos	Pelotas de golf	8
Piso	5 x 7 m	1:10	Vasos plásticos	Botones grandes	2
Mesa	50 x 70 cm	1:100	Contenedores plásticos	Botones pequeños	1
Computadora	NA	1:1	Conchas	Perlas	4

Tabla 2. Resumen de las escalas.

En esta tabla se simplifica la información de cuáles son las dimensiones de escala del área de búsqueda y los recursos utilizados en las tres diferentes áreas de búsqueda y el tiempo límite.

## ***Procedimiento***

Una vez obtenido permiso para trabajar en la escuela, se solicitaron las listas de cada grupo a la dirección de la escuela. Utilizando esta lista los sujetos fueron asignados a uno de los grupos experimentales de manera aleatoria. Cada vez que se seleccionaba un sujeto, el experimentador lo acompañaba hasta el área de trabajo. Los sujetos fueron probados de manera individual.

Las instrucciones de la prueba eran 1) coleccionar todas las pelotas debajo de los conos y guardarlas en la bolsa, 2) después de levantar un contenedor, este debe colocarse en la misma posición en el que lo encontró (para evitar que se dejaran volteados los contenedores visitados). Durante la explicación, el evaluador hace una demostración de cómo levantar el contenedor, recoger el objeto y devolver el contenedor. También se muestra al sujeto un ejemplo del objeto blanco que debe recolectar para establecer la imagen de búsqueda. Sólo en la versión a computadora se agregó un tutorial con tres intentos de colecta con la finalidad de que el individuo pudiera familiarizarse con los controles del avatar.

Nunca se mencionó el número de botones que había o que la prueba tuviera tiempo límite para resolverla. Todas las pruebas fueron video-grabadas para poder analizar posteriormente el desempeño de los participantes. Ningún individuo realizó más de una prueba y no se les permitió observar las pruebas de sus compañeros.

Para asegurar que los sujetos, sobre todo los más jóvenes, entendían el propósito y reglas de la prueba, con frecuencia se les pedía que los explicaran en sus propias palabras. Cuando existían preguntas como “¿Debo hacerlo rápido?”, estas se respondían con respuestas generales como “Puedes hacerlo como tú quieras”. En todos los arreglos, el sujeto comenzó a buscar desde uno de los lados cortos de la arena.

Después de realizar la prueba, cada individuo respondió un cuestionario para obtener sus datos generales, indicando: nombre, edad, sexo, grado escolar, uso de mano, número de hermanos y pasatiempos (ver Anexo I).

### **Análisis**

El desempeño en pruebas se resumió en la secuencia de colecta. Esta incluye el tiempo de inicio y fin de la búsqueda y la secuencia de colectas, incluyendo un identificador para la posición del contenedor y el tiempo en que cada contenedor fue levantado. Esta secuencia incluye el hecho de que los contenedores podían ser levantados más de una vez. Para empatar las diferencias en área entre las pruebas y aprovechando que todas las pruebas tenían el mismo arreglo espacial, se optó por representar todas las secuencias de búsqueda ajustándolas a las mismas dimensiones en un plano cartesiano.

A partir de estas secuencias, se contabilizaron los siguientes descriptores: 1) Una versión normalizada de la *distancia*, en la que dividimos la distancia linear recorrida por la secuencia de búsqueda linear de la secuencia de búsqueda entre la distancia mínima resultante de visitar todos los contenedores. Esta última se calculó mediante un algoritmo de recocido simulado (Kirkpatrick, Gelatt, & Vecchi, 1983), 2) el *número de objetos colectados* dividiendo este valor entre el número total de objetos disponibles en cada prueba (20 objetos por prueba), 3) la *tasa de colecta*, o el número de colectas como una función de la distancia linear de colecta y finalmente, 4) el *número de errores*, o cubiertas levantadas más de una vez, como función del número de objetos colectados.

El análisis estadístico se llevó a cabo utilizando R (R Core Team, 2016). Primero, se realizaron análisis de varianza (ANOVA) de tres vías para comparar los efectos de la escala espacial, la edad del grupo y el sexo, así como sus interacciones, en las medidas de desempeño. Después de la ANOVA, se realizó una serie de pruebas múltiples de comparación *post hoc* de Tukey, con una corrección de Holm.

También se realizaron regresiones para estudiar la relación entre desempeño y edad, y luego se procedió a comparar los coeficientes de la regresión entre escalas utilizando una *prueba simultanea para hipótesis lineales generales* con la función *glht* del paquete *multcomp* package, donde también se realizaron correcciones por comparaciones múltiples (Hothorn, *et al.*, 2008). Se eligió expresar los valores gráficamente utilizando diagramas de cajas y bigotes para expresar los descriptores por escala, edad y sexo y gráficos de flecha para los coeficientes de regresión. Todos los gráficos fueron realizados con el paquete *ggplot2* (Wickham, 2009). Se fijó un criterio de significancia para todas las pruebas de  $p < 0.05$ .

## **Resultados**

### ***Descripción de la muestra***

Los sujetos que evaluamos fueron receptivos a la prueba. Ningún sujeto decidió que no quería hacer la prueba después de iniciar y todos reportaron entender las instrucciones. Aunque de manera anecdótica, el 70% de los sujetos aprox. reportaron que la prueba fue “divertida”.

Al visualizar las métricas de desempeño, decidimos remover 3 sujetos de la muestra dado que tuvieron un desempeño particularmente malo, es decir, más de 3 desviaciones estándar por encima de la media que el grupo al que correspondían. De estos tres sujetos, dos fueron en la versión Mesa (un niño y una niña) y uno (un niño) en la versión Computadora. Como fue mostrado por Rosetti y colaboradores (2016), una alta frecuencia de errores se asocia con problemas de atención, creando una confusión al comparar su desempeño con el del resto de los participantes.

Por otro lado, los sujetos mostraron en el cuestionario que comúnmente se involucraban en tareas relacionadas con las escalas espaciales que probamos aquí, con 70% de los sujetos reportando realizar deportes, juegos de mesa o juegos de computadora como pasatiempo favorito. No se encontró relación

alguna entre el desempeño de los individuos y algún problema visual o la preferencia de uso de mano (diestra o zurda).

**Efectos de la escala en el desempeño**

En las escalas Cancha, Piso, Mesa, pero no en la versión a Computadora, la mayoría de los sujetos mantuvo una estrategia de búsqueda sistemática, es decir, se movieron en una manera que asemeja la distribución de cuadrícula, moviéndose entre conos vecinos de manera horizontal y vertical (y no diagonal o saltando conos, por ejemplo) y cometieron pocos errores (Tabla 3).

Tabla 3. Escalas				
Edad (años)	Cancha	Piso	Mesa	Computadora
6 – 7	65.60%	87.50%	62.50%	24.10%
9 – 10	88.40%	93.30%	66.70%	27.50%
11 – 12	97.60%	100.00%	76.50%	63.20%

Tabla 3. Escala.

Porcentaje de sujetos que muestran un desempeño cerca del óptimo, es decir menos de 20% de movimientos diagonales en su secuencia de búsqueda y no cometen errores. Las Ns son de 117, 45, 49 y 59, respectivamente.

Se encontraron diferencias significativas entre los patrones de desempeño en la distancia de las trayectorias de colecta en las escalas Cancha, Piso, Mesa y Computadora. Los individuos en las primeras tres escalas (Cancha, Piso y Mesa) realizaron trayectorias similares y colectas similares en porcentaje de levantamientos y realizaron una cantidad similar de errores (levantamientos a contenedores previamente visitados). Mientras que, en la tarea de la computadora, el desempeño involucró distancias significativamente más largas, un menor número de colectas, un mayor número de errores y una menor tasa de colectas en cualquier otra versión de la prueba (Figura 3 y 4, información estadística detallada ver en Anexo, Tabla 4).

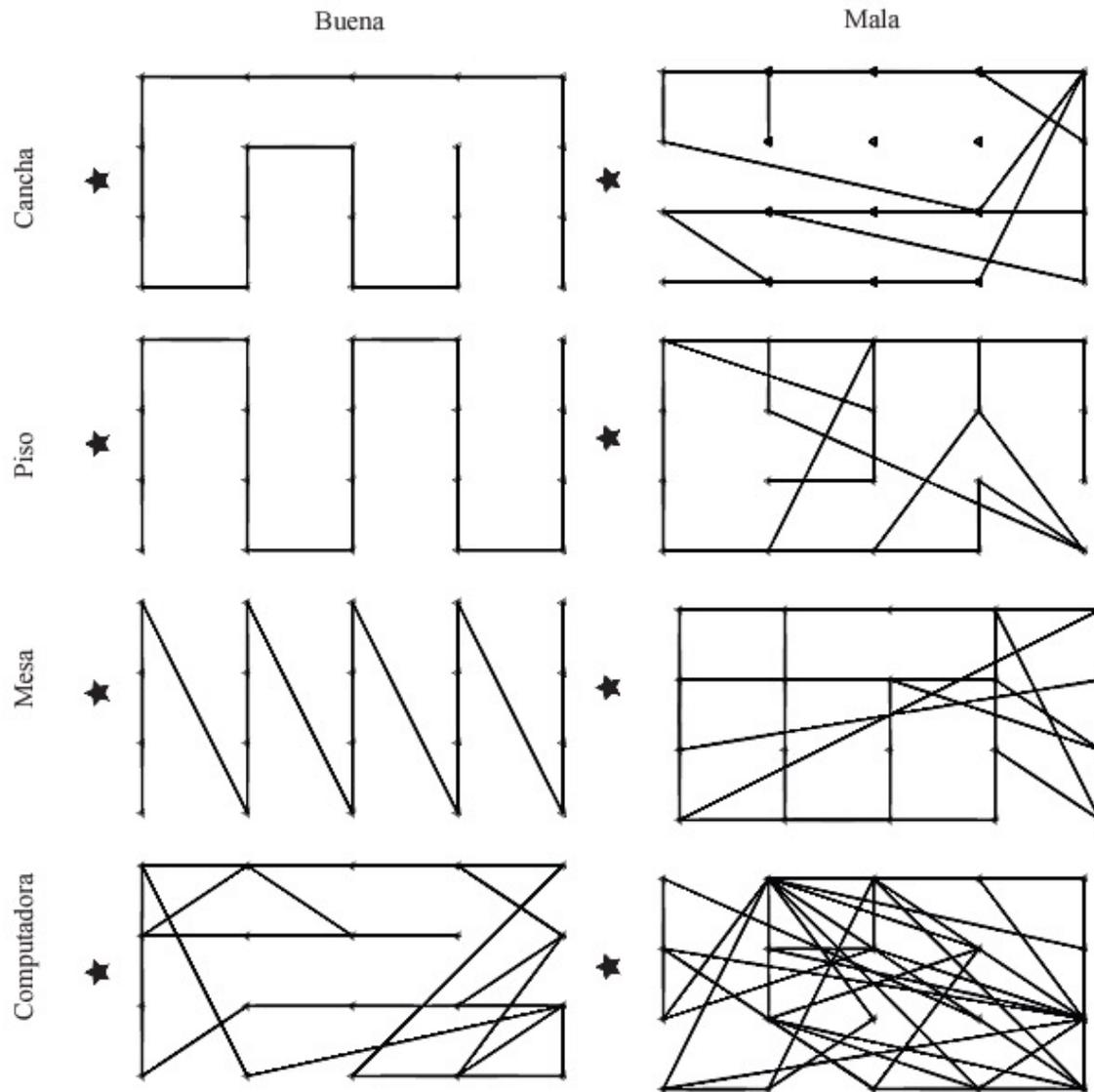


Figura 3. Ejemplos de trayectorias.

Las trayectorias buenas son aquellas que tuvieron pocos o ningún error y se colectaron los elementos en una secuencia lineal. Las trayectorias malas son aquellas con múltiples errores y donde había movimientos en diagonal que rompían una secuencia de colecta sistemática. Los triángulos marcan la posición de los conos y los círculos los puntos donde se realizó una colecta. La estrella marca del punto de inicio. Todos los sujetos pertenecían al primer grupo de edades.

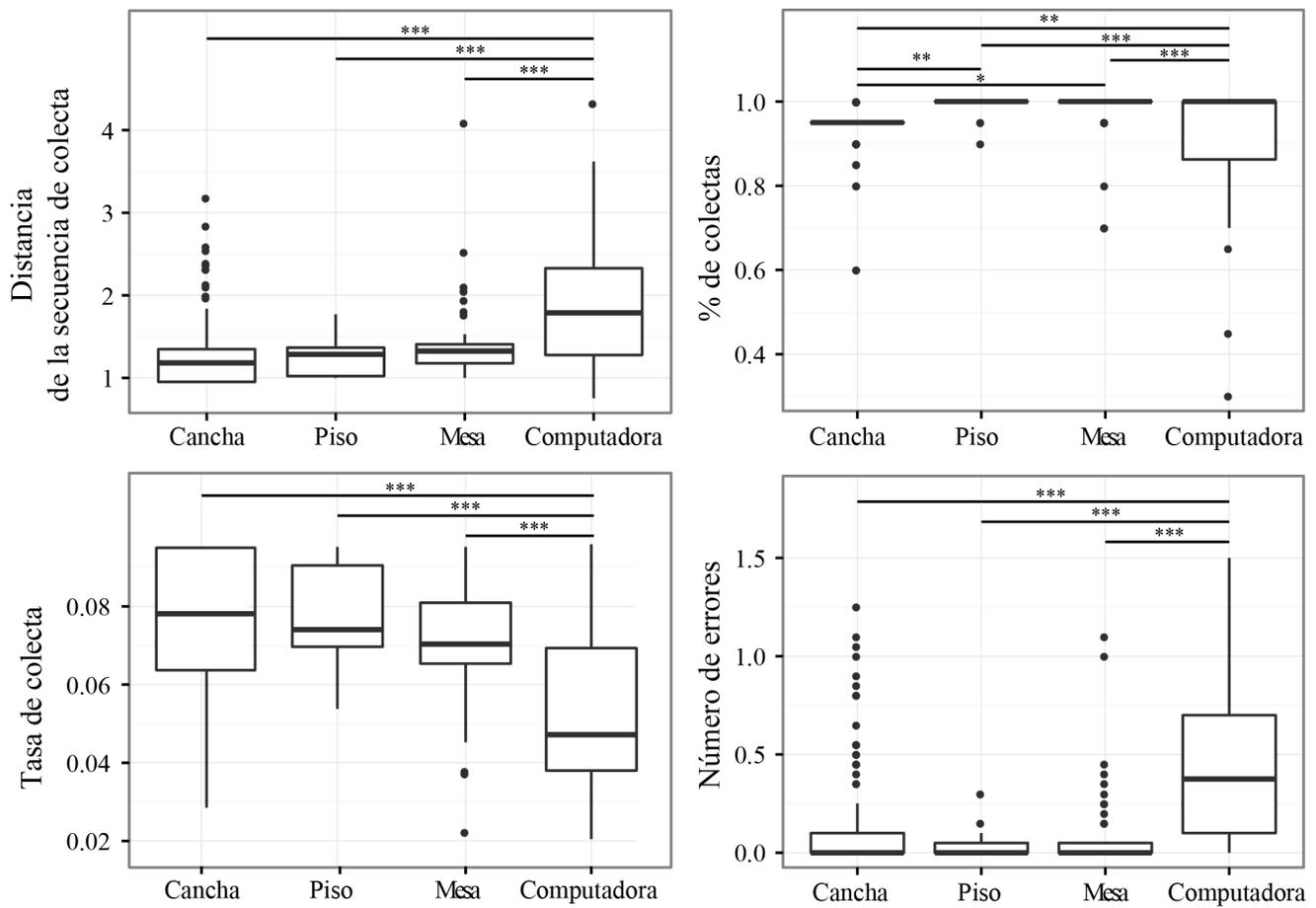


Figura 4. Efecto de la escala.

Los gráficos de cajas y bigotes muestran las métricas de desempeño para cada escala. Líneas gruesas horizontales muestran la mediana, mientras que los bordes de la caja muestran el primer y tercer *cuartil* respectivamente. Los bigotes muestran el valor más alto y bajo dentro de 1.5 veces el rango *intercuartil*. Los puntos representan valores fuera de estos rangos. Las líneas horizontales sobre las cajas muestran las diferencias significativas reportadas por la prueba *post hoc* de Tukey realizadas después de la ANOVA. \*  $p < 0.05$ , \*\*  $p < 0.01$ , \*\*\*  $p < 0.0001$ . Véase el texto para las definiciones de las métricas de desempeño.

### ***Escala, edad y sexo***

Los coeficientes de regresión mostraron que mientras la edad de los sujetos aumentaba, la distancia que cubrían en la búsqueda se iba disminuyendo al igual que el número de errores e incrementando la tasa de colecta (Figura 5, Tabla 5: ver Anexo). Al momento de comparar los grupos de edades se encontró que las diferencias fueron entre los grupos de edades más chicas (6-7) y los más grandes (11-12), mientras que no se encontraron diferencias entre los grupos de 9-10 y 11-12 años de edad, para la versión computarizada de la prueba los coeficientes de regresión mostraron muy pocos cambios tanto en la distancia recorrida durante la prueba como el número de errores realizados en la misma en los grupos de edad, además se encontraron diferencias significativas entre los coeficientes de regresión de las escalas cancha, piso y mesa; y la escala a computadora.

Las comparaciones entre las escalas y los sexos no mostraron diferencias significativas en las distancias de las trayectorias (Figura 6, Tabla 6: ver Anexo).

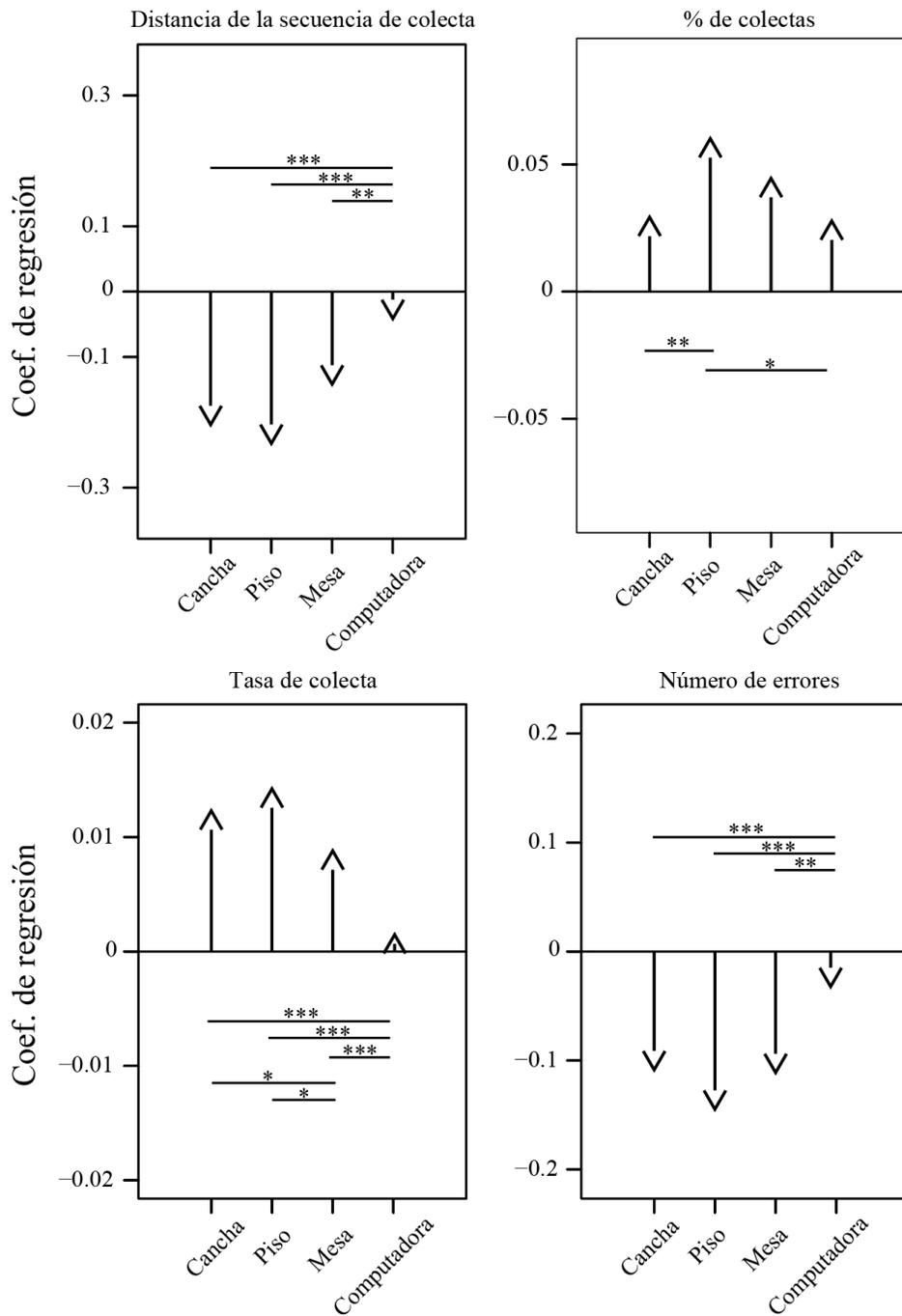


Figura 5. Desempeño en relación a la edad.

Los gráficos de flecha indican el valor y la dirección de los coeficientes de regresión que describen la relación entre las métricas de desempeño y la edad para cada versión de la prueba. Las líneas horizontales sobre las cajas muestran las diferencias significativas reportadas por la prueba *post hoc* de Tukey realizadas después de la ANOVA. \*  $p < 0.05$ , \*\*  $p < 0.01$ , \*\*\*  $p < 0.001$ . Véase el texto para las definiciones de las métricas de desempeño.

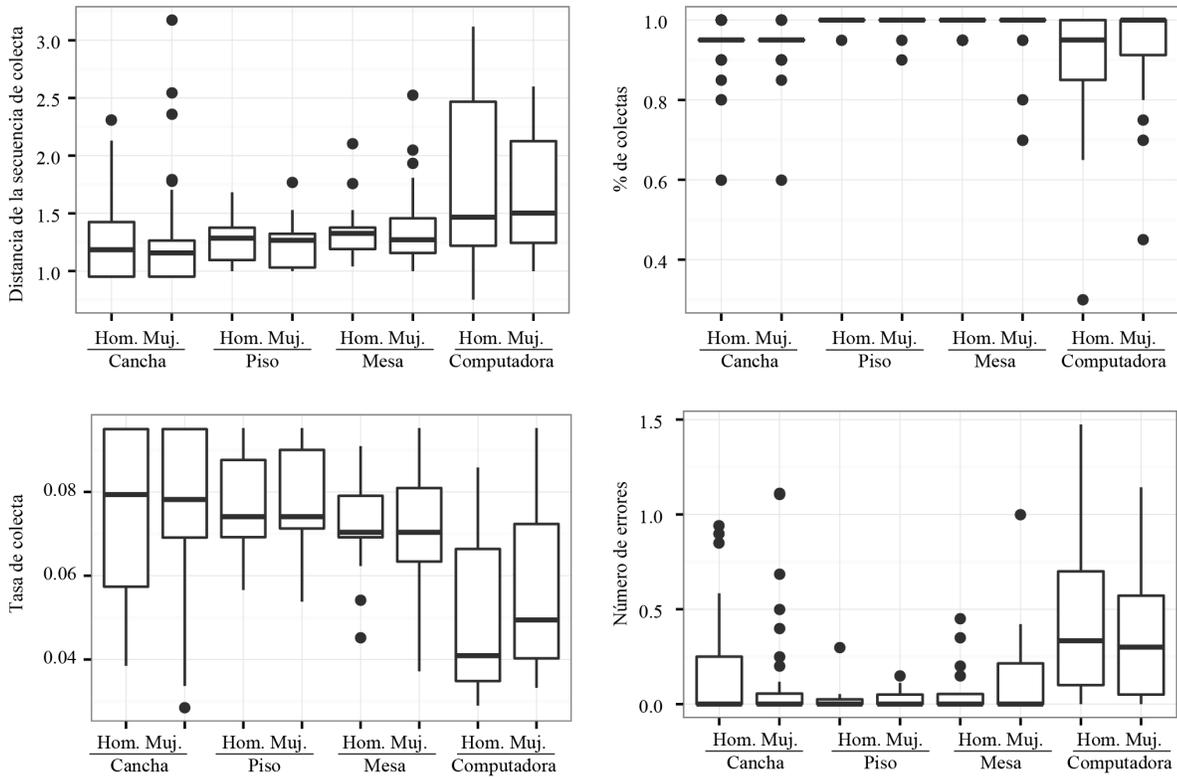


Figura 6. Efecto de la escala, por sexo.

Los gráficos de cajas y bigotes muestran las métricas de desempeño para cada escala. Líneas gruesas horizontales muestran la mediana, mientras que los bordes de la caja muestran el primer y tercer cuartil respectivamente. Los bigotes muestran el valor más alto y bajo dentro de 1.5 veces el rango intercuartil. Los puntos representan valores fuera de estos rangos. Véase el texto para las definiciones de las métricas de desempeño.

## Discusión

### ***Desempeño general***

Todos los sujetos respondieron afirmativamente cuando se les preguntó si entendieron las instrucciones y realizaron sin ninguna dificultad aparente la prueba de búsqueda. En el cuestionario los individuos proporcionaron información sobre sus actividades diarias y pasatiempos como los deportes, juegos de mesa y de video, todas, actividades realizadas en las escalas espaciales anteriormente mencionadas. De tal modo que en la actual muestra refleja el desempeño de los individuos que rutinariamente realizan tareas que ocurren en escalas espaciales similares a las de la prueba de búsqueda.

Un pequeño porcentaje de los sujetos en la muestra desarrolló un pobre desempeño, usando una estrategia de búsqueda desorganizada perdiendo la pista de los contenedores que ya habían levantado, acumulando una mayor cantidad de errores (más de 20). La mejor forma de resolver esta prueba rápidamente y sin cometer errores requiere que el individuo realice una estrategia de búsqueda sistemática y prestar atención a los contenedores que ya fueron vaciados.

En un estudio previo, enfocado a la prueba de búsqueda en una cancha de fútbol (Rosseti *et al.*, 2016) se encontró que podría coincidir el gran número de errores con problemas de atención. En este caso, el promedio del número de errores y el porcentaje de la muestra que realizó un pobre desempeño (3% en la cancha, 0% en piso, 2% en la mesa) fue similar entre casi todas las versiones de la prueba (10% en computadora).

## ***Edad y diferencias de sexo***

A excepción de la versión computarizada de la prueba, se observa sensibilidad para efectos de edad en el desarrollo de la prueba. Las diferencias que se observaron sugieren que, durante esta ventana de tiempo, algunos de los procesos cognitivos involucrados en la búsqueda maduran de acuerdo a la edad. La teoría de Piaget del desarrollo menciona que, entre los 6 y 12 años, los niños tienen una transición en el uso de la lógica para la solución de problemas (Huitt & Hummel, 2003). Es este un periodo altamente sensible del desarrollo, en el que los niños tienen independencia para moverse y son capaces de lidiar en gran manera e interactuar con su ambiente.

Por tanto, muchas de las decisiones que forman procesos que resultan en la búsqueda y colecta en cualquier entorno natural o urbano, son probablemente concretados en esta etapa del desarrollo. El hecho de que el desempeño lineal llega a una meseta con la edad, sugiere que la tarea no es un reto para el grupo de edad más grande. Anteriormente se reportaron diferencias de sexo en el desempeño en la trayectoria (distancia) en la escala de la cancha. A pesar de esto, estas diferencias no se replicaron en las comparaciones establecidas. Una de las explicaciones podría ligarse a la forma en que el desempeño fue evaluado en estas pruebas.

Para la versión de la prueba realizada en cancha la distancia fue calculada por medio de los registros de un GPS, entonces se tiene un detallado cálculo del movimiento entre los contenedores. En cambio, para el análisis de estas pruebas se utilizó únicamente las secuencias de las colectas, que es el orden en el que los contenedores fueron levantados, por lo cual reduce en gran manera la resolución del análisis de la conducta y en el proceso, disminuye la posibilidad detectar y replicar las diferencias en el sexo en el desempeño.

## ***Desempeño y escala***

Se encontraron desempeños similares en las versiones de cancha, piso y mesa. Se esperaba que pudiera haber alguna mejora conforme la escala se fuera disminuyendo; desde que los sujetos fueron capaces de tener una vista completa del área y el arreglo de la distribución se volviera más obvio conforme se redujera, los patrones de colecta podrían haber llegado a ser más sistemáticos y con menos errores. No fue el caso, pues incluso en la superficie de la mesa se tuvo el mismo número relativo de errores y distancia atravesada que en la tarea de la cancha.

Históricamente las representaciones a escalas disminuidas del mundo físico han jugado un importante rol (v. gr. los juegos de mesa), evaluación (v. gr. laberintos) y entrenamiento (v. gr. trayectoria de acción o terreno de pruebas) en los humanos. Disminuir la escala a una tarea tiene varias ventajas: la hace posible de traer a contextos de un salón, oficina o laboratorio, puede hacer a la tarea más económicamente factible al probarla en muchos sujetos y también hace más fácil la manipulación de variables. Es importante tener la certeza de que, incluso una simulación sobre la mesa, podrían mantenerse las características básicas de la situación simulada y que ese desempeño en la tarea puede ser una representación de lo ocurrido en las situaciones de la realidad.

Es importante remarcar que se observó un patrón de desempeño similar en las versiones físicas de la prueba (Cancha, Piso y Mesa), una posible explicación a este fenómeno podría ser que, a pesar de los cambios en las dimensiones espaciales, los elementos centrales en la tarea permanecieron de la misma forma. Como se mencionó en la introducción, una de las habilidades cognitivas de los seres humanos que parece ser muy buena, incluso a edades tempranas, es la de mapear el entorno. En este caso la estructura de la rejilla, presente en todas las escalas, provee una estructura de mapeo simple con aquello que crea una representación interna y, sobre la cual, podría aplicarse una búsqueda sistemática.

Si las estrategias de búsqueda pueden ser aplicadas sin importar la escala, los sujetos podrían desempeñar una búsqueda sistemática en cualquiera de las escalas en las que la prueba fue elaborada. De cualquier modo, el desempeño en las versiones físicas de la prueba no fue similar a la versión virtual de la misma, sugiriendo que mientras escalar la prueba es una posibilidad, algo de ésta no es transferible a la versión en computadora. Hay muchas posibles explicaciones a este caso. La primera puede ser explicada por la motivación: al tener una menor estimulación motora, una prueba a computadora podría ser menos interesante o poco estimulante en comparación con una prueba física y, aquellos en los que se observó un pobre desempeño en la prueba computarizada, podría deberse a la falta de un objetivo atractivo, similar a una recompensa.

Por otro lado, los medios con una pequeña estimulación motora, tales como los juegos de mesa o los videojuegos, han logrado atraer muy exitosamente la atención de sus usuarios; millones de niños, adolescentes y adultos de todo el mundo pasan muchas horas a la semana haciendo uso de estos recursos. Es claro que no todos los juegos ejercen la misma atracción y mientras se trataba de proporcionar un ambiente atractivo visualmente para el escenario de búsqueda, es posible que los niños no lo encontrasen la prueba interesante, como originalmente se asumió.

Un aspecto relacionado con la motivación es la expectativa que el individuo tiene al momento de desempeñar la tarea. Como se mostró en el cuestionario, la mayoría de los niños han estado expuestos a algún tipo de videojuego. La prueba presentada en forma de video juego pondría como entretenimiento las expectativas del sujeto, incrementando el interés de los participantes para explorar el juego en lugar de concentrarse en el objetivo de la prueba.

Otra explicación a los resultados podría tener lugar en la percepción y cognición de los participantes. La forma en la que los aspectos fundamentales del ambiente son percibidos y cómo es que la información se procesa e integra en la prueba virtual es diferente a los procesos que ocurren en las pruebas físicas. Cabe mencionar que se requiere de marcas conspicuas en ambientes virtuales para poder orientar al

individuo (paredes, edificios, montañas, p. e.), la falta de marcas conspicuas propiciaría un ambiente uniforme en el que el sujeto podría perder su orientación (Darken & Sibert, 1996; Ruddle, Payne, & Jones 1997).

En el caso de la prueba de búsqueda computarizada, se colocaron diferentes características ambientales en cada borde del área experimental. Uno de los reportes negativos de una transferencia de una tarea a una realidad virtual sugiere que algunas peculiaridades relacionadas con aspectos visuales y locomotores de la prueba podría tener un impacto negativo en el desempeño de los individuos (Kozak et al. 1993).

Un tema que podría estar relacionado con el control motor del avatar en la prueba a computadora. Las versiones físicas de la prueba involucran movimientos del cuerpo o manos del sujeto, en la versión virtual el sujeto manipula un personaje de computadora para realizar la búsqueda. Esto podría ser improbable, ya que la mayoría de los individuos que realizaron la prueba, parecían tener experiencia manipulando al personaje o al ambiente utilizando un control.

A pesar de la abundancia de literatura especializada en los tópicos de computadoras tareas y pruebas educativas (Elliott, Adams, & Bruckman, 2002; Egenfeldt-Nielsen 2004), la pregunta que debería realizarse respecto a este tema es si las pruebas por sí mismas, reflejan bien las situaciones que se intentan simular y si éstas están bien representadas.

Es indudable que los ambientes virtuales son herramientas cautivadoras para examinar y probar herramientas que causan un gran impacto en la modernización de herramientas educativas (Mayo, 2009) e investigaciones psicológicas (Rosetti, et al. *enviado*; Tong et al. 2016). Siendo la pequeña aportación de este proyecto el exhortar a observar cuidadosamente los resultados que se obtienen de las pruebas realizadas en una realidad virtual, pues hay muchas razones por las que la transferencia de la tarea podría dejar de funcionar.

## **Conclusión**

Con respecto al paradigma de búsqueda, podemos notar que la reducción de la escala, al menos en el rango que va de la Cancha a la Mesa, parece no tener un efecto visible sobre el desempeño. Sin embargo, los resultados de la versión de Computadora, siguieron que algunos de los aspectos de la prueba no fueron trasladados completamente a la plataforma virtual, indicando que al menos en este caso, esta versión de la prueba no constituyó una buena representación para la versión real de la conducta de búsqueda.

Las implicaciones de estos conocimientos son de alta relevancia para la construcción de pruebas conductuales. Muchos aspectos de este paradigma son escalabres y pueden ser llevados con éxito a una situación escalada para ser de manejo más fácil, como oficinas o despachos médicos para la evaluación conductual de sujetos humanos, y aún en estas versiones reducidas, se pueden mantener intactos algunos aspectos de la naturaleza de la prueba. Pero también es importante que no podemos asumir que un paradigma pueda ser transferido sin cambios a una versión virtual, ya sea por razones de percepción, motivación o simple diseño, lo que debe ser tomado en cuenta cuando se diseñen versiones virtuales de situaciones reales, con costos y consecuencias en el mundo físico.

## Referencias

- Acredolo, L. (1977). *Developmental changes in the ability to coordinate perspectives of a large-scale space*. *Developmental Psychology*, 13(1), 1-8.
- Alcolck, J. (2009). *Animal Behavior: An Evolutionary Approach*. 9th ed., Sunderlandn Massachusetts, USA: Sinauer Associates Inc.
- Bell WJ (1991) *Searching behaviour: the behavioural ecology of finding resources*. Chapman and Hall Animal Behaviour Series, Chapman and Hall, London
- Blaut, J. M., McCleary, G. S., & Blaut, A. S. (1970). *Environmental mapping in young children*. *Environment and Behavior*, 2(3), 335-349.
- Blaut, J. M., Stea, D., Spencer, C., & Blades, M. (2003). *Mapping as a cultural universal: theoretical arguments and developmental evidence*. *Annals of the Association of American Geographers*, 93(1), 165-85.
- Carnap, R. (1995). *An introduction to the Philosophy of Science*. Dover Publications. Disponible en: <http://www.math.chalmers.se/~ulfp/Review/carnap.pdf>
- Couclelis, H., Golledge, R. G., Gale, N., & Tobler, W. (1987). *Exploring the anchor-point hypothesis of spatial cognition*. *Journal of Environmental Psychology*, 7(2), 99-122.
- Czienskowski, U. (2005). *The Word Puzzle Experiment*.
- Darken, R. P., & Sibert, J. L. (1996). *Navigating large virtual spaces*. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 8(1), 49-71.
- Downs, R. M., & Stea, D. (2011). *Cognitive maps and spatial behavior: Process and products* (p. 25). In *The Map Reader: Theories of Mapping Practice and Cartographic Representation*, First Edition. Edited by Martin Dodge, Rob Kitchin and Chris Perkins.
- French & Ebison (1986). *Introduction to Classical Mechanics: Space, time and motion*, Springer Netherlands p. 1
- Galea, L. A. M., & Kimura, D. (1993). *Sex differences in route learning*. *Personality and Individual Differences*, 14, 53-65.
- Gallagher, A. G., Ritter, E. M., Champion, H., Higgins, G., Fried, M. P., Moses, G., ... & Satava, R. M. (2005). *Virtual reality simulation for the operating room: proficiency-based training as a paradigm shift in surgical skills training*. *Annals of surgery*, 241(2), 364-372.
- Gaulin, S. J. C., & Fitzgerald (1986). *Sex differences in spatial ability: an evolutionary hypothesis and test*. *American Naturalist*, 127, 74-88.
- Gaulin S. J. C., & Hoffman, H. A. (1988). *Evolution and development of sex differences in spatial ability*. *Human Reproductive Behaviour: A Darwinian Perspective*, L. Betzig, M. Borgerhof-Mulder and P. Tuke (Eds.). Cambridge: Cambridge University Press, 129-152.

- Gibson, C., E. Ostrom & T. K. Ahn (2000). *The concept of scale and the human immersions of global change: a survey*, *Ecological Economics*, vol. 32, 217-239.
- Gilchrist, I.D., North, A. & Hood, B., 2001. *Is visual search really like foraging?* *Perception*, 30, 1459-1464.
- Hampson, E., & Kimura, D. (1992). *Sex differences and hormonal influences on cognitive function in humans*. Behavioral Endocrinology, J.B. Becker, S.M. Breedlove, and D. Crews (Eds.). Cambridge: The MIT Press, 357–398.
- Hegarty, M., Montello, D. R., Richardson, A. E., Ishikawa, T., & Lovelace, K. (2006). *Spatial abilities at different scales: Individual differences in aptitude-test performance and spatial-layout learning*. *Intelligence*, 34(2), 151-176.
- Hegarty, M., Richardson, A. E., Montello, D. R., Lovelace, K., & Subbiah, I. (2002). *Development of a self-report measure of environmental spatial ability*. *Intelligence*, 30(5), 425-447.
- Herman, J. F., & Siegel, A. W. (1977). *The development of spatial representations of large-scale environments*. Learning Research and Development Center, University of Pittsburgh. <http://eric.ed.gov/?id=ED145958>.
- Hothorn, T., Bretz, F., & Westfall, P. (2008). *Simultaneous inference in general parametric models*. *Biometrical Journal*, 50(3), 346-363.
- Huitt, W., & Hummel, J. (2003). *Piaget's theory of cognitive development*. *Educational psychology interactive*, 3(2), 1-5.
- Ittelson, W. H. (1970). *Perception of the large-scale environment*. *Transactions of the New York Academy of Sciences*, 32 (7 Series II), 807-815.
- Johnson, George B; Raven, Peter H.; Singer, Susan; Losos, J., 2002. *Behavioral Ecology*. In *Biology*. Washington, USA: Mc.Graw Hill, 553–568.
- Kahn, P. H., & Kellert, S. R. (2002). *Children and nature: Psychological, sociocultural, and evolutionary investigations*. MIT Press.
- Kimura D. (1983). *Speech representation in an unbiased sample of left-handers*. *Human Neurobiology*, 2, 147-154.
- Kirkpatrick, S., Gelatt, C. D., & Vecchi, M. P. (1983). *Optimization by simulated annealing*. *Science*, 220(4598), 671-680.
- Kozak, J. J., Hancock, P. A., Arthur, E. J., & Chrysler, S. T. (1993). *Transfer of training from virtual reality*. *Ergonomics*, 36(7), 777-784.
- Lawton, C. A. (1994). *Gender differences in way-finding strategies: Relationship to spatial ability and spatial anxiety*. *Sex roles*, 30(11-12), 765-779.

- Levitis, D.A., Lidicker, W.Z. & Freund, G., 2009. *Behavioural biologists do not agree on what constitutes behaviour*. Elsevier, 78(Animal Behaviour), pp.103–110.
- Lloyd, J., Persaud, N. V., & Powell, T. E. (2009). *Equivalence of real-world and virtual-reality route learning: a pilot study*. *Cyberpsychology & Behavior*, 12(4), 423-427.
- Malinowski, J. C., & Gillespie, W. T. (2001). *Individual differences in performance on a large-scale, real-world wayfinding task*. *Journal of Environmental Psychology*, 21(1), 73-82.
- Malinowski, J. C. (2001). *Mental rotation and real-world wayfinding*. *Perceptual and Motor Skills*, 92(1), 19-30.
- Meyer, E. (1940). *Comprehension of spatial relations in preschool children*. *Journal of Genetic Psychology*, 57, 119-151.
- Moffat, S. D., Hampson, E. and Hatzipantelis, M. (1998). *Navigation in a “virtual” maze: sex differences and correlation with psychometric measures of spatial ability in humans*. *Evolution and Human Behavior*, 19, 73-87.
- Montello, D. R. (1993, September). *Scale and multiple psychologies of space*. In *European Conference on Spatial Information Theory* (pp. 312-321). Springer Berlin Heidelberg. Science 716, Berlin, 1993.
- 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.
- Ostrosky-Solis, F., Ardila, A., Rosselli, M., Lopez-Arango, G., & Uriel-Mendoza, V. (1998). *Neuropsychological test performance in illiterate subjects*. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 13(7), 645-660.
- Pellicano, E. et al. (2011). *Children with autism are neither systematic nor optimal foragers*. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 108, 421–426.
- Piaget, J. & Inhelder, B. (1967). *The child's conception of space*. New York: Norton.
- R Core Team (2015). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Richardson, A. E., Montello, D. R., & Hegarty, M. (1999). *Spatial knowledge acquisition from maps and from navigation in real and virtual environments*. *Memory & cognition*, 27(4), 741-750.
- Rosetti, M.F. et al., 2010. *An experimental and theoretical model of children's search behavior in relation to target conspicuity and spatial distribution*. *Physica A*, 389, pp.5163–5172.
- Rosetti, M. F., Ulloa, R. E., Vargas-Vargas, I. L., Reyes-Zamorano, E., Palacios-Cruz, L., de La Peña, F., et al. (2016). *Evaluation of children with ADHD on the ball-search field task*. *Scientific Reports*, 6(19664).

- Ruddle, R. A., Payne, S. J., & Jones, D. M. (1997). *Navigating buildings in "desk-top" virtual environments: Experimental investigations using extended navigational experience*. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 3(2), 143.
- Ruiz-Rivera, N., Galicia, L. (2016). *La escala geográfica como concepto integrador en la comprensión de problemas socio-ambientales*. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*, Volume 2016, Issue 89 pp. 137-153.
- Siegel, A. W., & White, S. H. (1975). *The development of spatial representations of large-scale environments*. *Advances in child development and behavior*, 10, 9-55.
- Smith, A.D., Gilchrist, I.D. & Hood, B., 2005. *Children's search behaviour in large-scale space: Developmental components of exploration*. *Perception*, 34, pp.1221–1229 .
- Smith, R. (2010). *The long history of gaming in military training*. *Simulation & Gaming*. *Simulation Gaming* February, 41(1), 6-19.
- Stea, D., Blaut, J. M., & Stephens, J. (1996). Mapping as a cultural universal. In Portugali, J. (Ed.), *The construction of cognitive maps* (pp. 1–2). Dordrecht, The Netherlands: Kulwer Academic Press.
- Tendick, F., Downes, M., Goktekin, T., Cavusoglu, M. C., Feygin, D., Wu, X., ... & Way, L. W. (2000). A virtual environment testbed for training laparoscopic surgical skills. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 9(3), 236-255.
- Todd, P. M., Hills, T. T., & Robbins, T. W. (2012). *Building a foundation for cognitive search*. In P. M. Todd, T. T. Hills, & T. W. Robbins (Eds.), *Cognitive search: Evolution, algorithms, and the brain* (pp. 1–7). Cambridge: MIT Press.
- Tong, T., Chignell, M., Tierney, M. C., & Lee, J. (2016). *A Serious Game for Clinical Assessment of Cognitive Status: Validation Study*. *JMIR serious games*, 4(1), e7.
- Torsten Hothorn, Frank Bretz and Peter Westfall (2008). *Simultaneous Inference in General Parametric Models*. *Biometrical Journal* 50(3), 346—363.
- Tversky, B., Bauer Morrison, J., Franklin, N., & Bryant, D. J. (1999). *Three spaces of spatial cognition*. *The Professional Geographer*, 51(4), 516-524.
- Vailati, E. (1997) *Leibniz & Clarke: A Study of Their Correspondence*. Oxford University Press.
- Waller, D. (2000). *Individual differences in spatial learning from computer-simulated environments*. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 6(4), 307.
- Wellman, H. W., Somerville, S. C., & Haake, R. J. (1979). Development of search procedures in real-life spatial environments. *Developmental Psychology*, 15(5), 530-542.
- Wickham. H. ggplot2 (2009). *Elegant Graphics for Data Analysis*. Springer-Verlag New York.

Wilson, B. A., Evans, J. J., Emslie, H., Alderman, N., & Burgess, P. (1998). *The development of an ecologically valid test for assessing patients with a dysexecutive syndrome*. *Neuropsychological rehabilitation*, 8(3), 213-228.

Witmer, B. G., Bailey, J. H., Knerr, B. W., & Parsons, K. C. (1996). *Virtual spaces and real world places: transfer of route knowledge*. *International Journal of Human-Computer Studies*, 45(4), 413-428.

## **Anexos**

### ***Cuestionario***

\*Obligatorio

**Nombre \***

**Edad \***

**Sexo \***

Femenino Masculino

**Hermanos \***

Si No

**¿Cuántos?**

**Lentes \***

Si No

**Uso de manos \***

**Grado escolar \***

**Hobbies \***

Leer

Videojuegos

T.V.

Juegos de mesa

Ejercicio

Internet

Otro

**¿Cuáles?**

**Tiempo invertido \***

<30 min 30min-1h 1-2h 2-3h >3h

Tabla 4. Resultado de la ANOVA para la escala, edad, sexo y sus interacciones.

		Distancias de la secuencia de colectas		% de colectas		Tasa de colectas		Número de errores	
	<i>d</i> <i>f</i>	<i>F value</i>	<i>p</i>	<i>F value</i>	<i>p</i>	<i>F value</i>	<i>p</i>	<i>F value</i>	<i>p</i>
escala	3	17.32	< 0.001	14.04	< 0.001	24.8	< 0.001	25.16	< 0.0
edad	2	19.39	< 0.001	23.58	< 0.001	38.9	< 0.001	22.08	< 0.001
sexo	1	1.63	0.2	0.023	0.88	1.41	0.23	3.27	0.07
escala: edad	6	6.20	< 0.001	11.33	< 0.001	4.22	< 0.001	5.71	< 0.001
escala: sexo	3	0.61	0.61	3.14	0.03	1.01	0.39	1.61	0.18
escala: edad: sexo	6	3.88	0.002	2.23	0.04	2.74	0.01	6.56	< 0.001

Tabla 4. Resultado de la ANOVA para la escala, edad, sexo y sus interacciones.

\*  $p < 0.05$ , \*\*  $p < 0.01$ , \*\*\*  $p < 0.001$ .

	Distancias de la secuencia de colectas		% de colectas			Tasa de colectas			Número de errores			
	<i>Est ± SE</i>	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>Est ± SE</i>	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>Est ± SE</i>	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>Est ± SE</i>	<i>t</i>	<i>p</i>
(Ordenada)	1.67 ± 0.07	23.4	< 0.001	0.88 ± 0.01	58.6	0.0014	0.05 ± 0.003	18.6	< 0.001	0.35 ± 0.04	7.79	< 0.001
Cancha	-0.19 ± 0.03	-5.85	< 0.001	0.03 ± 0.01	4.03	< 0.001	0.01 ± 0.001	9.14	< 0.001	-0.11 ± 0.03	-5.16	< 0.001
Piso	-0.23 ± 0.05	-4.33	< 0.001	0.06 ± 0.01	5.37	< 0.001	0.01 ± 0.002	6.86	< 0.001	-0.16 ± 0.04	-4.97	< 0.001
Mesa	-0.14 ± 0.04	-3.48	0.012	0.04 ± 0.01	5.24	< 0.001	0.01 ± 0.002	5.59	< 0.001	-0.12 ± 0.03	-4.57	< 0.001
Computadora	-0.06 ± 0.04	-1.36	0.17	0.03 ± 0.01	2.99	< 0.001	0.001 ± 0.002	0.89	0.37	-0.04 ± 0.03	-1.38	0.17

Tabla 5. Coeficientes de regresión.

Error estándar (SE), estadístico *t* y valores de significancia para las relaciones entre las métricas de desempeño y la edad en cada escala.

Tabla 6. comparaciones múltiples para las interacciones entre escala y sexo									
		Distancias de la secuencia de colectas		% de colectas		Tasa de colectas		Número de errores	
Comparaciones		intervalo	p	intervalo	p	intervalo	p	intervalo	p
Escala	Sexos								
Cancha	H vs M	(-0.29, 0.12)	0.896	(-0.04, 0.04)	1.000	(0, 0.01)	0.908	(-0.2, 0.03)	0.367
Piso	H vs M	(-0.41, 0.34)	1.000	(-0.08, 0.07)	1.000	(-0.01, 0.02)	1.000	(-0.22, 0.22)	1.000
Mesa	H vs M	(-0.27, 0.38)	1.000	(-0.1, 0.03)	0.759	(-0.02, 0.01)	0.991	(-0.14, 0.24)	0.988
Computadora	H vs M	(-0.5, 0.22)	0.934	(-0.01, 0.13)	0.164	(-0.01, 0.02)	0.846	(-0.32, 0.1)	0.754

Tabla 6. Comparaciones múltiples para las interacciones entre escala y sexo.

\*  $p < 0.05$ , \*\*  $p < 0.01$ , \*\*\*  $p < 0.001$ .