

# Laberintos virtuales para la estimulación de la orientación espacial

### Resumen

El proceso de orientación espacial (OE) consiste en la percepción y procesamiento de estímulos relacionados con su posición y distribución en el espacio, es decir, permite al sujeto conocer dónde se ubica espacial y/o geográficamente, una forma de evaluación existente es la aplicación de pruebas psicométricas que utilizan laberintos. La representación tridimensional del laberinto proporciona una simulación cercana al mundo real permitiendo la participación del usuario en un espacio donde es necesario que él conozca su posición actual (ubicación) y a través de direcciones (izquierda, derecha, enfrente y atrás) pueda encontrar la solución, por lo tanto, se tendrá una evaluación más efectiva a comparación del método manual o bidimensional. En este trabajo se presenta un ambiente virtual denominado MAZE3D cuyo propósito es ser una herramienta para la estimulación de la orientación espacial.

### Abstract

The process of spatial orientation consists in the perception and processing of stimuli related to their position and distribution in space. In other words, it allows the subject to know where he or she is located spatially and/or geographically. A current form of evaluation is the application of psychometric tests using mazes. The three-dimensional orientation of the maze provides a simulation very similar to the real world, allowing the user to negotiate a space in which he must know his current position (location) and, by following directions (left, right, front and back), find the solution. Therefore, a more effective evaluation is rendered than that of the manual or two-dimensional method. This paper presents a virtual environment called MAZE3D, whose purpose is to be a tool for the stimulation of spatial orientation.

### Résumé

Le processus d'orientation spatiale (OS) est la perception et le procédé de stimulation en relation avec sa position et distribution dans l'espace, c'est-à-dire que cela permet à la personne de savoir où elle se situe dans l'espace et/ou géographiquement, une manière de l'évaluer est de faire passer des épreuves psychométriques en utilisant des labyrinthes. La représentation tridimensionnelle du labyrinthe offre une simulation proche de celle du monde réel ce qui permet à l'internaute de se représenter dans un espace où il est nécessaire de connaître sa position actuelle (situation) en utilisant des directions (gauche, droite, en face-devant et derrière) afin de pouvoir trouver la solution. Il y aura alors une évaluation plus efficace que celle de la méthode manuelle ou bidimensionnelle. Dans cette étude, on présente un environnement virtuel nommé MAZE3D dont le but est d'être un outil pour la stimulation de l'orientation spatiale.

Josué Flores Osorio,  
Beatriz Adriana Sabino Moxo,  
José Alberto Márquez Domínguez.

**Palabras clave:** Algoritmo de Prim, habilidad cognitiva, realidad virtual.

## Introducción

La orientación espacial (OE) es una capacidad que permite a un individuo orientarse en el espacio de acuerdo con las referencias normativas espacio-temporales propias de cada cultura tales como: arriba-abajo, izquierda-derecha, antes-después, etc. (Jiménez, 2009). Los aprendizajes básicos que contempla la OE de acuerdo con Jiménez (2009) son:

- conceptos básicos dimensionales.
- conceptos básicos posicionales
- reconocimiento de relaciones topológicas

Instituto de Farmacobiología, Universidad de la Cañada, Oaxaca, México.

También el autor considera que la orientación espacial es una de las habilidades básicas más importantes para el aprendizaje de los niños, esta capacidad juega un papel importante en el desarrollo de la lectura y

escritura, debido a que estas actividades emplean una direccionalidad de izquierda a derecha. En el caso de la lectura, cuando no se tiene clara dicha direccionalidad se provocan inversiones en la lectura, rotaciones de algunas letras como la b, d, p y q; en cuanto a la escritura, la práctica de la direccionalidad mejora la grafomotricidad.

De acuerdo con Gonzato et al. (2011) algunas actividades que pueden llevarse a cabo para la estimulación de la orientación espacial son:

- Distinguir los movimientos izquierda-derecha, delante-detrás, primero-último, subir-bajar, etc.
- Resolver laberintos.
- Localizar lugares (ciudades, ríos, montañas, islas, etc.) en mapas o planos.
- Construir maquetas o dibujar planos o mapas.
- Realizar listados de lugares y calles importantes.
- Representar un espacio o trayecto en dos o tres dimensiones.
- Ubicar físicamente trayectos, objetos o personas en un espacio.

Por lo anterior, es importante generar herramientas que apoyen el desarrollo de la capacidad cognitiva así como de la orientación espacial, éste último servirá para identificar el nivel de deterioro de dicha capacidad, donde se evaluará de forma más significativa, también para conocer si los ejercicios están arrojando los resultados esperados.

La tecnología virtual brinda el potencial para desarrollar ambientes de prueba que pueden complementar los procedimientos de evaluación neuropsicológica existentes que dependen principalmente de lápiz, papel y observación conductual. Usado de esta manera, los ambientes virtuales para rehabilitación pueden mejorar la confiabilidad psicométrica y la validez, a su vez, se tiene un mejor diagnóstico de las diferentes formas de disfunción del Sistema Nervioso Central (Rizzo et al. 2005). Los ambientes de realidad virtual, constituyen una oportunidad interesante para la evaluación de la desorientación topográfica, proporcionando una representación de naturaleza dinámica e interactiva (Huiyu y Huosheng, 2005).

Ahora bien, los autores Santos y Santos (2013), propusieron una adaptación del algoritmo Prim para generar laberintos aleatorios con interfaz en 2D, dicha propuesta se implementó en el lenguaje de progra-

mación Java utilizando matrices bidimensionales, además muestran la medición del rendimiento de su algoritmo evaluando con laberintos de diferentes tamaños, con la finalidad de revisar la velocidad con la que se generan los mapas del mismo.

Este trabajo retoma el algoritmo planteado por Santos y Santos (2013) y a partir de este se establece la siguiente propuesta: generar y construir laberintos en tres dimensiones a partir de un tamaño definido (ancho, alto) y de la información bidimensional. Con la finalidad de que éstos puedan ser empleados para la evaluación o estimulación de la orientación espacial, se colocaron en un ambiente tridimensional desarrollado con la plataforma Unity bajo el nombre de MAZE3D. Cabe mencionar que la implementación del algoritmo Prim se realizará en el lenguaje de programación C# y también la generación del ambiente 3D, debido a que este lenguaje es compatible con dicha plataforma.

## Construcción de Laberintos Virtuales

El algoritmo de Prim busca un árbol de expansión mínima a partir de un grafo conexo, no dirigido y ponderado, es decir, encuentra un subconjunto de las aristas que formen un árbol que incluya todos los vértices del grafo inicial, donde el peso total de las aristas del árbol es el mínimo posible (Joyanes y Zahonero, 2004).

El procedimiento para realizar lo anterior se presenta a continuación:

1. Se marca un vértice cualquiera, será el vértice de partida.
2. Se selecciona la arista de menor peso incidente en el vértice seleccionado anteriormente y se selecciona el otro vértice en el que incide dicha arista.
3. Repetir el paso 2 siempre que la arista elegida enlace un vértice seleccionado y otro que no lo esté. Es decir, siempre que la arista elegida no cree ningún ciclo.
4. El árbol de expansión mínima será encontrado cuando hayan sido seleccionados todos los vértices del grafo.

Enseguida se presentan los pasos (1 al 8) para generar un laberinto 2D almacenado en un arreglo bidimen-

sional, posteriormente se muestra la construcción en 3D (pasos 9 y 10).

**Paso 1.** Definir la notación para la representación del laberinto en 2D. En este paso se debe definir el carácter o símbolo que se va utilizar para la representación del laberinto, un ejemplo se muestra en la Tabla 1.

**Paso 2.** Declarar el arreglo bidimensional. Se declara un arreglo dinámico con el tipo de dato adecuado que considere la representación del paso anterior.

**Paso 3.** Generar de forma aleatoria el tamaño del laberinto. Se generan aleatoriamente los valores de

Tabla 1. Valores de la matriz 2D que se utiliza para el laberinto.

Valor	Descripción
B	Pared
.	Camino
E	Entrada
S	Salida
F	Frontera

ancho y alto, no es indispensable que la matriz sea cuadrada.

**Paso 4.** Llenar el arreglo de paredes. De acuerdo a la notación definida para la representación del laberinto 2D, se llena el arreglo con el carácter "B" que representa la pared (Figura 1), cabe mencionar que mediante el algoritmo Prim se definirán los caminos del laberinto.

**Paso 5.** Seleccionar aleatoriamente el inicio del laberinto y sus fronteras. Siguiendo con el algoritmo Prim, se debe elegir una posición aleatoria para el inicio o entrada (nodo inicial) del laberinto y etiquetarla de acuerdo a la notación del paso 1, en este caso es el

B	B	B	B
B	B	B	B
B	B	B	B
B	B	B	B

Figura 1. Llenar el arreglo con el carácter que simboliza pared (B).

carácter "E", posteriormente se etiquetan las fronteras del nodo inicial (Figura 2).

**Paso 6.** Cavar un pasaje adyacente al nodo inicial. Se elige de forma aleatoria una de las fronteras etiquetadas (realizado en el paso anterior) y a continuación dicha frontera se convierte en nodo inicial (cavar un

B	B	B	B
B	B	B	B
F	B	B	B
E	F	B	B

Figura 2. Elegir nodo inicial (E) y etiquetar sus fronteras (F).

pasaje adyacente al nodo inicial) y se etiqueta con la notación de Pared con el carácter "." (Figura 3).

**Paso 7.** Etiquetar las fronteras del nuevo nodo inicial. Después de redefinir el nodo inicial, se etiquetan las fronteras (izquierda, derecha, arriba y abajo), cabe mencionar que las fronteras se eligen de forma hori-

B	B	B	B
B	B	B	B
.	B	B	B
E	F	B	B

Figura 3. Cavar un pasaje adyacente "." al nodo inicial.

zontal o vertical (Figura 4) más no en forma diagonal (Figura 5).

**Paso 8.** Encontrar la salida del laberinto. Mientras tenga fronteras el nodo inicial, se repite el paso 6 y 7. La última frontera se etiqueta como salida con el carácter "S" como se muestra en la Figura 6. A continuación se

B	B	B
B	↑	B
B	B	B

B	B	B
B	←	B
B	B	B

B	B	B
B	↓	B
B	B	B

B	B	B
B	→	B
B	B	B

Figura 4. Forma correcta de etiquetar una frontera.

B	B	B
B	↗	B
B	B	B

B	B	B
B	↘	B
B	B	B

B	B	B
B	↖	B
B	B	B

B	B	B
B	↙	B
B	B	B

Figura 5. Forma incorrecta de etiquetar una frontera.

describe la construcción del laberinto 3D a partir de la información generada.

**Paso 9.** Leer el arreglo bidimensional. Se realiza una lectura de todo el arreglo bidimensional generado en los pasos anteriores. Se verifica el tipo de etiqueta

B	.	S
.	.	B
E	B	B

Figura 6. Laberinto 2D.

en cada celda, dependiendo del valor que tenga se realizará la correspondiente transformación (Figura 7).

**Paso 9.1.** Crear un cubo por cada etiqueta. Se crea un objeto de tipo cubo con valor uno en ancho, alto y largo (tamaño por default).

Alto ↓	0	E	.	.	B	B
	1	B	.	B	B	B
	2	.	.	.	B	B
	3	.	B	.	.	.
	4	B	B	B	B	S
		0	1	2	3	4
		Ancho →				

Figura 7. Arreglo bidimensional generados de los pasos 1-8.

**Paso 9.2** Aplicar las transformaciones geométricas de Traslación y Escalado. A cada cubo creado se aplica una traslación y escalado con diferentes valores (factores), esto se debe a que algunos de estos cubos serán paredes, caminos (piso) entrada y salida.

**Paso 9.3** Agregar Avatar (inicio) y bandera (fin). El usuario empleará un avatar para recorrer la escena, inicialmente éste se ubica al inicio y debe llegar a un punto marcado (salida).

El paso 9 se termina hasta que se haya recorrido todo el arreglo.

**Paso 10.** Cercar el laberinto 3D. Este paso es opcional, se utiliza para cercar el laberinto creado, esto permite definir la zona que el usuario puede recorrer.

Con estos 10 pasos se concluye con el modelo que se propone para la generación de laberintos 3D, desde que se define el tamaño de forma aleatoria hasta que se obtiene la construcción de mismo.

## Implementación de laberintos virtuales

El desarrollo de la aplicación MAZE3D se realizó bajo el lenguaje de programación C Sharp, debido a que éste es compatible con la plataforma Unity. Se implementó la interfaz de presentación de la aplicación (Figura 8).

Una salida del procedimiento descrito en el apartado anterior se muestra en la Figura 9, en las Figuras 10-12 se presentan diferentes vistas de la aplicación. En el siguiente apartado se describen las pruebas realizadas y resultados obtenidos al utilizar los métodos propuestos.



Figura 8. Presentación de la aplicación.

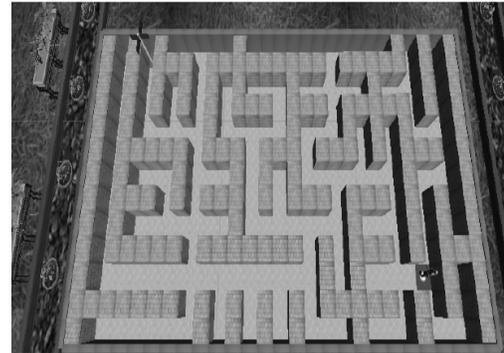


Figura 9. Estructura del laberinto 3D.



Figura 10. Aplicación MAZE3D, inicio.



Figura 11. Aplicación MAZE3D, navegando en el laberinto.



Figura 12. Aplicación MAZE3D, buscando bandera (final).

## Resultados y discusión

En las pruebas realizadas participaron 27 usuarios (estudiantes y docentes de la Universidad de la Cañada), la dinámica realizada se menciona a continuación:

1. Resolver dos laberintos en una hoja de papel.
2. Resolver dos laberintos generados de forma aleatoria utilizando la aplicación en 3D.
3. Contestar cuestionario de evaluación del sistema.

Para la actividad uno, se solicitó resolver los laberintos usando un lapicero, todos los usuarios resolvieron los mismos mapas (Figura 13).

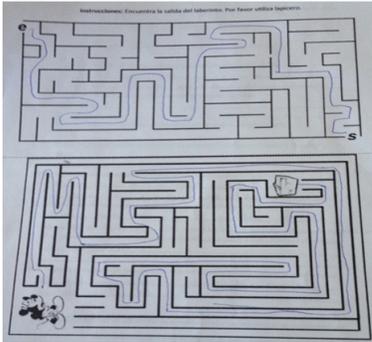


Figura 13. Laberintos en una hoja de papel (2D).

En la segunda actividad, el usuario resolvió dos mapas diferentes (en diseño y tamaño) generados por la aplicación. Cabe mencionar que un factor importante en la resolución de laberintos es el tiempo destinado para resolverlo, por tal motivo MAZE3D obtiene dicho valor y lo muestra al encontrar la salida. En esta actividad se midió el tiempo que los usuarios requirieron para resolverlo, el cual se muestra a detalle en la Tabla 2. En la tercera actividad los usuarios contestaron las siguientes preguntas con relación a las actividades realizadas:

1. ¿Te fue difícil realizar las tareas asignadas dentro del sistema?
2. La interacción que tuviste con la interfaz del sistema, ¿fue agradable?
3. ¿Qué te gustaría que tuviera la interfaz para hacerla más agradable? Describe.
4. ¿Qué otras funciones se le pueden agregar al sistema? Describe.
5. ¿Cómo consideras el nivel de funcionalidad del sistema? Califica del 0 al 10.
6. ¿Cómo consideras que fue la velocidad del software? Califica con “Buena”, “Regular” y “Mala”.
7. ¿Qué características positivas pudiste ver dentro del sistema? Describe.

8. ¿Qué características negativas pudiste ver dentro del sistema? Describe.

9. ¿Cuál prueba es de tu preferencia: laberinto en hoja de papel o con software? ¿Por qué?

10. Escribe un comentario de manera general sobre tu experiencia en el uso de este sistema.

Cabe mencionar que las preguntas 3 y 4 se aplicaron con la finalidad de obtener aportaciones que serán considerados como trabajo a futuro.

Se realizó un análisis de las respuestas obtenidas de las cuales se concluye lo siguiente: de los 27 usuarios que realizaron la prueba el 70% indicó que no fue difícil llevar a cabo las tareas asignadas, al 96% le agradó la interacción con la aplicación, la calificación promedio hacia la aplicación fue de 8, al 67% le pareció buena la velocidad de la aplicación, solamente el 15% prefería resolver el laberinto en una hoja de papel. No se mencionaron características negativas. Con respecto a comentarios adicionales y características positivas, los usuarios señalaron que con el software se agiliza la capacidad mental para recordar y pensar más rápido en una salida, además la aplicación contiene buenas imágenes, velocidad, sonido de fondo, ambiente, la interacción usuario-interfaz es agradable. Como sugerencias se mencionaron agregar más formas de control para el personaje, así como movimientos adicionales para el avatar.

## Conclusiones

El uso de laberintos virtuales permite complementar los procedimientos de evaluación o estimulación neuropsicológica existentes que dependen principalmente de lápiz, papel y observación conductual. La representación tridimensional del laberinto proporciona una simulación cercana al mundo real permitiendo la participación del usuario en un espacio donde es necesario que él conozca su posición actual (ubicación) y a través de direcciones (izquierda, derecha, enfrente y atrás) pueda encontrar la solución, por lo tanto, se tendrá una alternativa de evaluación más efectiva a comparación del método manual o bidimensional. La funcionalidad de MAZE3D tuvo una calificación promedio de 8, además de obtener comentarios positivos con respecto al funcionamiento, interfaz e interacción con el usuario. El sistema es práctico además de que el usuario interactúa con un laberinto en 3D, se divierte y muestra interés en resolver otros,

Tabla 2. Tiempo de la prueba en la aplicación Maze3D.

No. Usuario	Prueba 1			Prueba 2		
	Tiempo	Tamaño		Tiempo	Tamaño	
		Alto	Ancho		Alto	Ancho
1	00:01:04	11	22	00:01:01	18	16
2	00:02:02	28	15	00:01:28	20	25
3	00:01:13	11	25	00:02:49	27	25
4	00:01:12	23	23	00:01:39	21	23
5	00:02:14	19	17	00:01:26	11	17
6	00:01:11	27	21	00:01:51	23	25
7	00:01:33	25	29	00:01:25	23	25
8	00:01:29	21	19	00:01:17	21	25
9	00:01:52	13	29	00:00:51	23	19
10	00:01:33	11	27	00:01:11	11	21
11	00:03:34	17	17	00:04:30	23	27
12	00:02:20	27	27	00:00:32	11	21
13	00:04:10	17	25	00:03:39	13	27
14	00:02:39	11	25	00:01:24	23	23
15	00:02:23	29	15	00:05:10	19	27
16	00:00:58	15	23	00:04:05	29	27
17	00:00:14	19	13	00:00:34	11	27
18	00:00:24	17	15	00:00:23	21	11
19	00:05:17	23	13	00:02:35	23	21
20	00:06:26	27	19	00:01:34	19	19
21	00:01:29	23	25	00:00:36	19	25
22	00:03:00	21	29	00:02:13	25	29
23	00:01:29	29	19	00:00:19	29	15
24	00:01:17	15	19	00:01:12	23	21
25	00:02:05	23	17	00:00:22	11	27
26	00:00:22	15	13	00:00:17	17	15
27	00:00:18	13	13	00:00:35	27	11

aunado a que desarrolla las capacidades cognitivas así como la orientación espacial.

El tiempo registrado por los usuarios al resolver el laberinto puede ser un factor que ayude en la estimulación de la orientación espacial.

Como trabajo a futuro se completará el software con la creación de escenas y avatares, para que sea un juego mediante el cual el usuario pueda interactuar y al mismo tiempo ser evaluado 

## Referencias bibliográficas

De la Cruz del Valle Alina, Morgado Ribas Yuliet Ivis. 2007. Deterioro cognitivo del adulto mayor en un consultorio médico de familia. Enlace en: <http://www.portalesmedicos.com/publicaciones/articulos/668/1/Deterioro-cognitivo-del-adulto-mayor-en-un-consultorio-medico-de-familia.html>

Gonzato Marguerita, Fernández Blanco Teresa y Diaz Godino Juan. 2011. Tareas para el desarrollo de habilidades de visualización y orientación espacial. 1887-1984, Vol. 77. *Números-Revista Didáctica de las Matemáticas*.

Huiyu Z. y Huosheng H. 2005. "Inertial Motion Tracking of Human Arm Movements in Stroke Rehabilitation", 1306 - 1311 Vol. 3. *Mechatronics and Automation*, 2005 IEEE International Conference.

Jiménez, I. 2009. Conocimiento del profesor para la enseñanza de las Matemáticas. Contribución de la metodología de resolución de problemas y las TIC al desarrollo de las competencias básicas. *Consejería de Educación de la Junta de Andalucía*, 2008-09, PIV-036/08.

- Joyanes Aguilar Luis, Zahonero Martinez Ignacio. 2004. Algoritmos y estructura de datos: una perspectiva en C. Mc Graw Hill.
- Maroto Serrano Miguel Ángel. 2005. La memoria: programa de estimulación y mantenimiento cognitivo. Servicio de Promoción de la Salud. Instituto de Salud Pública. ISBN 84-451-2416-1.
- Rael Fuster Ma. Isabel. 2009. Espacio y tiempo en educación infantil. Innovación y experiencias educativas. No. 15.
- Rizzo A., Buckwalter J.G., van des Zaag C., Neumann U. 2005. "Virtual Environment Applications in Clinical Neuropsychology", 2005, 63:70. doi: 10.1109/VR.2000.840364. Virtual Reality 2005. Proceedings. IEEE.
- Santos López Feliz Melchor, Santos de la Cruz Eulogio Guillermo. Algoritmo de Prim para la implementación de laberintos aleatorios en videojuegos. 2013.