

# Los laberintos del cerebro

A stylized illustration of a brain inside a green maze. The brain is pink and textured, sitting in a central circular opening of the maze. The maze is composed of thick green walls with a dotted texture, creating a complex, winding path. The background is a solid green color. The title 'Los laberintos del cerebro' is written in white, bold, sans-serif font at the top. At the bottom, the text 'CUADERNO EXPERIMENTA' is written in white, with a small white triangle above the letter 'A'. There are two small black silhouettes of people walking in the maze: one at the top right and one at the bottom left.



**MUSEO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA (MUNCYT)  
SECRETARÍA GENERAL DE INVESTIGACIÓN  
MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN**

**DIRECCIÓN**

Fernando Luis Fontes Blanco

**AUTORES**

Francisco Javier Cudeiro Mazaira  
(Catedrático de Fisiología de la Universidade de A Coruña)  
Miguel Barral Precedo  
(Museo Nacional de Ciencia y Tecnología)

**EDITA**

Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología (FECYT)

**ILUSTRACIÓN**

Curro Oñate/Wearbeard

**DISEÑO Y MAQUETACIÓN**

Advantia, Comunicación Gráfica, S.A.

**IMPRESIÓN**

Advantia Comunicación Gráfica, S.A

**Depósito legal:** M-29148-2023

**NIPO:** 831-23-026-0

**e-NIPO:** 831-23-027-6

Síguenos en:



[www.muncyt.es](http://www.muncyt.es)



[www.facebook.com/muncyt](https://www.facebook.com/muncyt)



[@muncyt](https://twitter.com/muncyt)



[@muncyt\\_es](https://www.instagram.com/muncyt_es)

# Los laberintos del cerebro

## A MODO DE PRESENTACIÓN

Los laberintos siempre han fascinado y cautivado al ser humano. Primero, como protagonistas de leyendas, ritos y mitos, como el construido por Dédalo en Creta donde encerró al Minotauro, al que acabaría venciendo Teseo gracias a la ayuda de Ariadna, quien le proporcionaría el hilo para salir del laberinto. Más tarde, como símbolo religioso, imagen del tortuoso tránsito hacia la salvación, en los pavimentos de iglesias y catedrales, como el gran laberinto de la Catedral de Chartres (Francia), el mayor de la Edad Media. A partir del Renacimiento, como elemento ornamental y divertimento para las clases nobles en sus jardines palaciegos, como el denominado “Laberinto del Amor” en Villa Pisani (Italia), y, con la irrupción de la ciencia, como reto matemático origen de nuevas ramas como la topología y la teoría de grafos. Ya en el siglo XX, como pasatiempo popular y como herramienta para el estudio del funcionamiento del cerebro, primero en animales y luego en personas. Hasta llegar al momento actual, donde los laberintos no sólo se emplean para la investigación en neurociencia sino también para el diagnóstico de trastornos mentales y como terapia para su tratamiento y rehabilitación.

Es precisamente este último ámbito, el del funcionamiento del cerebro, el que pretende explorar este cuaderno –en paralelo a la exposición homónima que acoge la sede de A Coruña del MUNCYT–. Todo ello, de un modo práctico y lúdico, con actividades y retos que permitan comprobar en primera persona las explicaciones y elementos de información que se presentan.

 EL CEREBRO

 VIVIMOS RODEADOS DE LABERINTOS

 ¿CÓMO NOS ENFRENTAMOS A UN LABERINTO?

 EL NAVEGADOR INTERNO O “GPS” DEL CEREBRO

 LOS LABERINTOS DE LA NEUROCIENCIA



# EL CEREBRO

Es increíble, ¿verdad? Es increíble que todo lo que somos capaces de hacer, sentir y crear depende de la actividad de una estructura esponjosa y blanda, fundamentalmente compuesta de agua, grasa y proteínas, de poco más de 1.4 kg y que supone apenas un 8% de la masa corporal. Pero que, eso sí, emplea el 20% de la energía producida por el organismo, lo que anticipa todo su enorme potencial y capacidades, derivadas de su extraordinaria complejidad estructural: el delicado y preciso ajuste de las 85.000 millones de neuronas y miles de millones más de otras células que lo componen es capaz de crear una enorme variedad de funciones tan fascinantes como la percepción del mundo a través de los sentidos, las emociones, el lenguaje simbólico, la comunicación oral, la conciencia individual y social e incluso el ansia de trascender después de la muerte. Por eso, podemos decir que el objeto más extraordinario del universo se encuentra en el interior de nuestra cabeza.



## La fascinante capacidad del cerebro en datos:

- El cerebro obtiene y procesa más información en 30 segundos de la que ha procesado el telescopio espacial Hubble en 30 años.
- 1 mm<sup>3</sup> de corteza cerebral (el tamaño de un grano de arena) contiene 2.000 terabytes de información, cantidad suficiente para almacenar todas las películas rodadas hasta la fecha.
- En total, el cerebro contiene 200 exabytes de información, el equivalente a todo el contenido digital del mundo actual.
- En un solo cm<sup>3</sup> de tejido cerebral hay tantas conexiones neuronales como estrellas en la Vía Láctea.

Somos lo que es nuestro cerebro en interacción con el mundo que nos rodea y, de alguna forma, un resultado tan extraordinario se debe a la actividad de las células que lo constituyen,



que están formando parte de circuitos locales, que, a su vez, se integran en áreas que forman parte de una inmensa red neuronal. Un intrincado sistema de conexiones que se cruzan, se juntan, divergen y crean un universo de caminos para que la actividad de las neuronas en conjunto con la de otros elementos celulares presentes en el cerebro, viaje por un laberíntico sistema de comunicación y ahora veamos o toquemos, seamos felices o estemos tristes, sentimos compasión, amor o curiosidad, creemos libros o canciones, o, simplemente, dejemos volar la imaginación y fantaseemos.



## ACTIVIDAD 1: Pon a prueba las increíbles capacidades de tu cerebro

1. Los investigadores han comprobado que nuestro cerebro percibe el entorno de un modo alternativo al estar tumbado. ¿Cómo lo han hecho? Pues gracias a un sencillo experimento que les ha permitido constatar que, en posición vertical y con los brazos cruzados, los ojos abiertos y un objeto vibrador en cada mano, nos cuesta identificar en qué mano se produce la vibración. Y que, con los ojos cerrados, nos resulta más fácil. Y aún más, si estamos tumbados sobre un costado. Haz la prueba: de pie, con un móvil en modo vibración en cada mano, cruza los brazos, pídele a un colaborador que llame a uno de los móviles y trata de identificar qué mano sostiene el móvil que vibra. Repite la prueba con los ojos cerrados y luego tumbado.
2. La mayoría de la gente piensa que el sabor se detecta exclusivamente en la boca, mediante las papilas gustativas. Esto es erróneo, porque la mayor parte de lo que llamamos gusto es, en realidad, olfato (algunos autores hablan de hasta el 80%). Haz la prueba: con los ojos cerrados y la nariz tapada, pide a tu colaborador que te deposite en la punta de la lengua una pequeña cantidad de alguno de estos productos muy usados en repostería: café molido, cacao, canela, almendra molida, coco rallado. O bien, unas gotas de estos líquidos: agua con sal, agua con azúcar, vinagre, zumo de naranja, café. ¿Eres capaz de identificarlos? Repite la prueba con la nariz destapada.



# VIVIMOS RODEADOS DE LABERINTOS

Los laberintos pueden ser muy divertidos cuando se afrontan como entretenimiento; por ejemplo, en el parque de atracciones o en un videojuego. Pero no lo son tanto cuando están presentes e interfieren en nuestro día a día. Y la realidad es que lo están: cada día nos enfrentamos a multitud de escenarios laberínticos por los que nos movemos: cuando circulamos entre las estanterías del supermercado o por los pasillos de un gran centro comercial; al subir al metro y escoger la ruta idónea o al buscar un recorrido alternativo para intentar evitar los atascos de tráfico de camino del trabajo a casa. Vivimos rodeados de laberintos.

Tanto si te encuentras en un gran centro comercial como si te has adentrado en unos jardines laberínticos, necesitarás salir de ahí. Y para ello no te quedará más remedio que utilizar las fantásticas posibilidades que te ofrece el cerebro. Lo primero a lo que echarás mano es a la información sensorial; fundamentalmente, la que te proporciona la vista: otearás el horizonte e intentarás buscar referencias (¿una torre, la copa de un árbol...?) que te permitan orientarte y buscar una salida. Como ya habrás imaginado, también necesitas la memoria, porque ahí pueden estar almacenados los pequeños detalles que te permiten tomar decisiones y con los que contrastar la información sensorial que recibes. Pero, además, cuentas con la ayuda inestimable de varios tipos de neuronas que se localizan en el lóbulo temporal, más o menos encima de las orejas, y que forman parte de dos estructuras cerebrales conocidas como hipocampo y corteza entorrinal, que también son fundamentales para la memoria y que te permitirán establecer tu localización en el espacio como si se tratara de un "GPS".

## **ACTIVIDAD 2:** **Laberintos para dar y tomar**

- *Enumera tres ejemplos de entornos laberínticos (distintos a los referidos en el texto) a los que te tengas que enfrentar habitualmente.*
- *Cita tres laberintos que hayas visitado y recorrido alguna vez.*
- *Busca 5 carátulas de películas, discos u otros objetos cotidianos en los que aparezcan laberintos.*
- *Encuentra 3 libros que aludan en su título a los laberintos.*

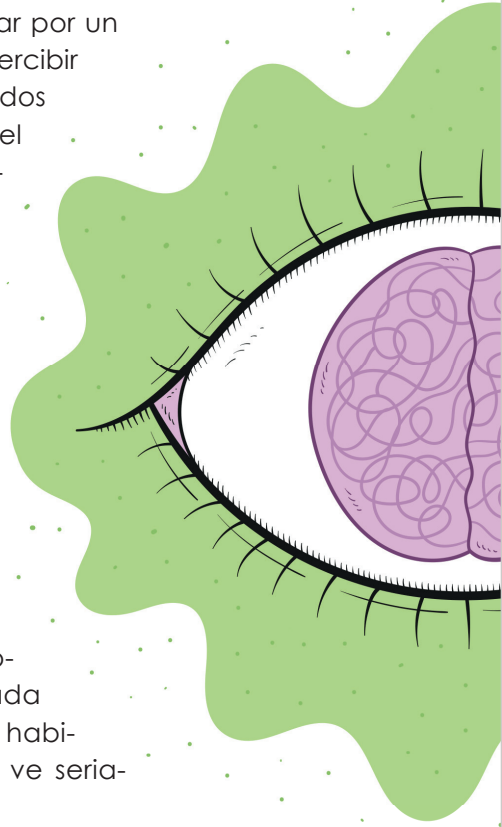




# ¿CÓMO NOS ENFRENTAMOS A UN LABERINTO?

Nuestra habilidad para resolver y/o navegar por un laberinto se basa en la capacidad para percibir las señales del entorno a través de los sentidos –sobre todo, la vista– y en la capacidad del cerebro para procesar, almacenar e integrar esta información con otros datos ya registrados en nuestro “disco duro cerebral”. En todo este proceso, juegan un papel muy importante las células que forman parte de nuestro “GPS” o sistema de posicionamiento cerebral, porque dan información sobre nuestra ubicación en el espacio y cómo nos movemos a través de él. Más adelante hablaremos de ello.

En síntesis, resolvemos los laberintos gracias a la información sensorial y a la memoria. Si alguna de las dos falla, está mermada o comprometida (en otra tarea), nuestra habilidad para enfrentarnos a un laberinto se ve seriamente disminuida.



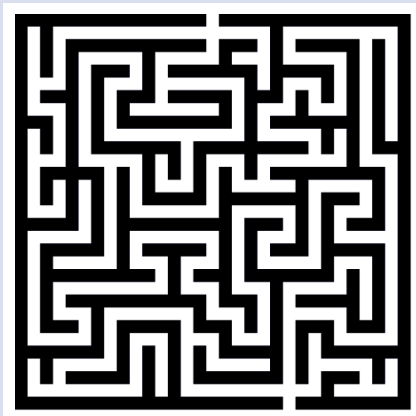
## **ACTIVIDAD 3: El laberinto del supermercado**

*Un caso práctico y un experimento para hacer de camino a casa es acceder a un supermercado. Prueba a recorrer los pasillos del supermercado desde la entrada hasta alcanzar la pescadería y luego la salida. Repite la experiencia, pero teniendo que recordar los productos de la lista de la compra o recitando una canción, tareas que mantienen (parcialmente) ocupada a la memoria.*

Por ejemplo, la ausencia de referencias visuales condiciona y dificulta nuestra capacidad para orientarnos en un laberinto. Por eso es más fácil perderse o desorientarse por la noche, sobre todo en entornos rurales o en la naturaleza. También por eso nuestros ancestros preferían desplazarse y buscar alimento durante el día y resguardarse al caer la oscuridad.

## RETO 2: ¿Quién ha apagado la luz?

Intenta resolver el laberinto en un entorno a oscuras o en penumbra (por ejemplo, encerrado en el cuarto de baño o en tu cuarto con la puerta cerrada y las persianas bajadas). Después vuelve a intentarlo con luz.



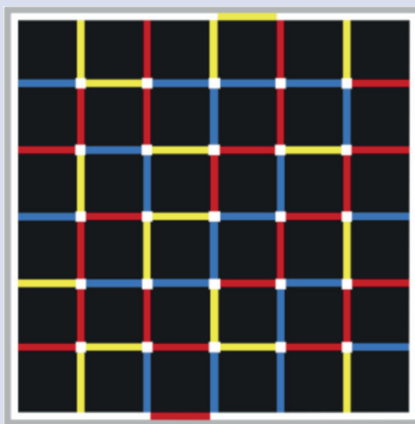
Puedes descargarlo a mayor tamaño aquí:

<https://freesvg.org/the-maze>

En otras ocasiones, aunque ninguna de las dos capacidades –visión o memoria– estén comprometidas en otras tareas o mermaidas, también podemos primar voluntariamente una sobre la otra. Un ejemplo de ello son los laberintos lógicos, laberintos visualmente muy simples de resolver, pero en los que hay que observar una serie de reglas. Eso exige una mayor capacidad de procesamiento por parte del cerebro. Por eso nos enfrentamos a ellos sabiendo de antemano que su dificultad no reside en su trazado (que, de hecho, suele ser muy sencillo) sino en la obligatoriedad de recorrerlo cumpliendo unas determinadas normas. Por tanto, nos apoyamos más en nuestra capacidad de procesamiento.

## RETO 3: Lógica-mente

Inventados por Robert Abbott en 1952, los laberintos lógicos son laberintos visualmente muy simples de resolver, pero en los que hay que observar una serie de reglas. Eso exige una mayor capacidad de procesamiento por parte del cerebro.



El objetivo es ir desde la casilla con el borde exterior rojo hasta salir por la casilla con el borde exterior amarillo. Solo se puede circular de casilla en casilla, en vertical u horizontal. Y hay que desplazarse sobre las casillas respetando la secuencia rojo-amarillo-azul para el color del lado compartido y que hay que cruzar.





# EL NAVEGADOR INTERNO O "GPS" DEL CEREBRO

Una vez que ya tenemos claro que la capacidad para navegar por un laberinto depende de nuestros sentidos (fundamentalmente, la vista) y la capacidad de procesamiento de nuestro cerebro, llega el momento de resolver cómo nos orientamos en un entorno laberíntico. La respuesta es que lo hacemos porque el cerebro cuenta con un sofisticado navegador espacial: el sistema de posicionamiento interno o "GPS" del cerebro, que se localiza en dos áreas concretas: el hipocampo y la corteza entorrinal, que están íntimamente conectadas entre sí.

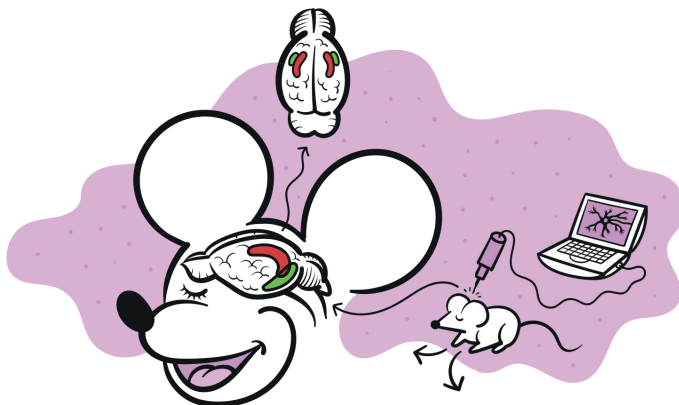
## Navegador interno del cerebro: componentes y manual de uso

¿Cómo funciona nuestro sistema de localización espacial? El sistema de posicionamiento interno o "GPS cerebral" consta de dos elementos o funcionalidades: un sistema para identificar señales destacadas y ubicarlas y un sistema de referencia universal para desplazarnos.

El sistema de referencia es una red o cuadrícula (análoga al sistema de meridianos y paralelos) y es siempre el mismo en cualquier entorno; es universal. El cerebro lo superpone al escenario al que nos enfrentamos para disponer de una guía que nos permita saber en todo momento dónde estamos y en qué dirección y cuánto nos desplazamos por ese entorno.

Una vez integrado el escenario en este sistema de referencia, el cerebro identifica señales o hitos particulares y las ubica en una de esas casillas.

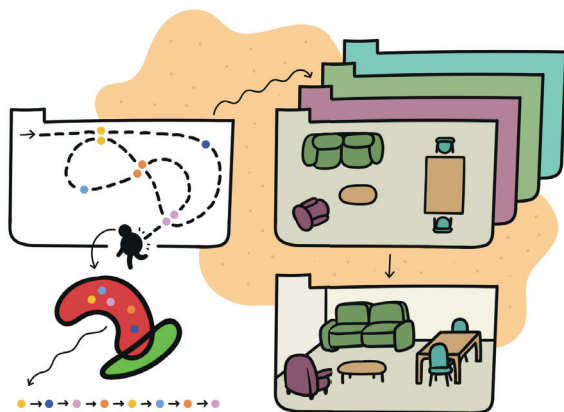
De este modo y con estos hitos como referencias, podemos estimar en qué dirección nos movemos, así como la distancia: cuántas casillas hemos avanzado y en qué dirección. Y al revés, cuántas casillas y en qué dirección tenemos que movernos para alcanzar un hito concreto; por ejemplo, una iglesia que queremos visitar y cuyo campanario vemos a distancia.



Para acabar de entender esto, vamos a verlo con un poco más detalle:

El "GPS interno" se localiza en dos áreas concretas del cerebro: el hipocampo y la corteza entorrinal (áreas roja y verde respectivamente del cerebro del ratón en la ilustración). Los científicos han descubierto cómo funciona estudiando la actividad neuronal en el cerebro de roedores: midiendo y analizando los impulsos eléctricos de cada neurona individualmente mientras los animales exploran el entorno.

Primero, se descubrió en el hipocampo un tipo particular de neuronas –a las que denominaron "neuronas de lugar"–, que se activan al recibir la información externa de los sentidos, especialmente la vista, cuando pasamos por un lugar concreto. Crean marcas en el espacio que recordamos para orientarnos. Y todas juntas forman un mapa físico del entorno que constituye la base para saber dónde estamos en todo momento.

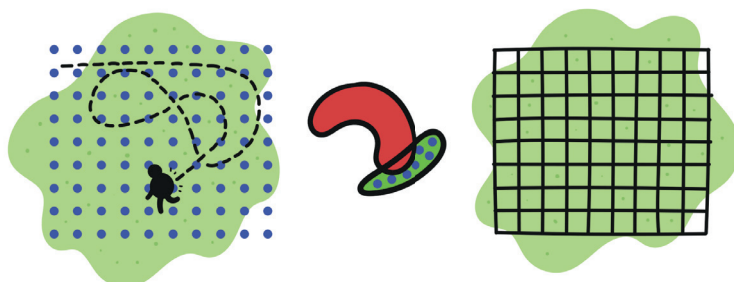


Cada vez que cambiamos de escenario y nos movemos por uno nuevo, estas neuronas generan otro mapa físico único. Y cada uno de estos mapas se almacena en la memoria y pasa a formar parte de nuestro archivo de mapas.

De este modo, cuando visitamos otra vez ese escenario, el cerebro recupera el mapa correspondiente y no tiene que volver a generarlo. Por eso nos movemos con más soltura y seguridad en entornos (re)conocidos. Además, el cerebro no se limita a recuperar el mapa, sino que aprovecha cada visita a ese escenario para revisarlo, actualizarlo y completarlo. Por eso, cuantas más veces lo visitemos más sencillo nos resulta orientarnos en él, ya que disponemos de más referencias.

Posteriormente, en la corteza entorrinal se identificó otro tipo de neuronas que conforme nos desplazamos por un entorno se van activando una a una a intervalos regulares, cada cierta distancia. A diferencia de las "células de lugar" no responden ante un sitio concreto, a algo que capta nuestra atención, sino que son como las miguitas de pan que Pulgarcito iba tirando regularmente para marcar el camino.

Estas neuronas son denominadas "células celda" porque lo que hacen es ir señalizando o poniendo marcas en el espacio y todas juntas forman o generan un marco de referencia. Por decirlo de un modo sencillo: lo que hacen estas neuronas es enmarcar el escenario en una retícula, un sistema de coordenadas, algo parecido a las cuadrículas de los mapas de las guías de viajes y callejeros.

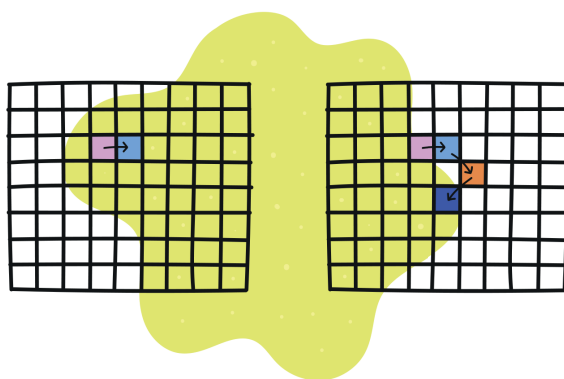




A diferencia de las células de lugar que generan un nuevo mapa físico único para cada escenario, las células celda generan siempre el mismo sistema de coordenadas sobre todos los escenarios. De igual manera que los callejeros recurren al mismo sistema de cuadrículas para todas las ciudades.

Lo más interesante es que las neuronas que delimitan cada celda se comunican entre sí. Y esto permite al cerebro saber en qué sector estamos en cada momento, cuándo pasamos de uno a otro y en cuál entramos.

Este sistema de referencia permite al cerebro seguir nuestro movimiento en el espacio y trazar la ruta o camino que recorreremos.



Pero si estas neuronas celda no responden a estímulos externos concretos, sino que se activan regularmente ¿Cómo saben cuándo han de activarse? La respuesta se encuentra en otros dos tipos de neuronas presentes, asimismo, en la corteza entorrinal:

Por un lado, las "neuronas de dirección", que se activan en función de la dirección en la que apunta nuestra cabeza, hacia dónde miramos. Actúan como una brújula interna, ya que se activan unas u otras dependiendo de si miramos a derecha o izquierda, adelante o atrás, etc.

Por otro lado, están las neuronas que monitorizan la velocidad y estiman a qué ritmo avanzamos y, por tanto, cuánta distancia hemos recorrido.

Esto es fácil de entender, ya que cualquiera de nosotros sabe si avanza más rápido o más lento, incluso con los ojos cerrados o en la completa oscuridad, sin necesidad de información externa. Y también sabemos en qué dirección apunta nuestra cabeza, aunque tengamos los ojos cerrados.

#### **ACTIVIDAD 4: Tú también tienes neuronas de dirección y de velocidad**

- *Sítuate en un lugar o entorno en el que haya referencias visuales en todas las direcciones. Identifícalas primero y, luego, cierra los ojos o véndatelos y pide a un amigo que te haga girar un par de veces. Manteniendo los ojos cerrados, indica en qué dirección está apuntando tu cabeza, cuál de las referencias visuales tiene delante.*
- *Sal a pasear y avanza a una determinada velocidad. Tras un rato, ¿cuánta distancia crees que has recorrido y cuánto tiempo has estado caminando? Comprueba lo segundo con tu reloj y lo primero con el GPS del teléfono, una pulsera de actividad o recurriendo a los hitos kilométricos, si el paseo por el que has caminado los incluye.*

De este modo, el cerebro sabe estimar a qué velocidad nos movemos y en qué dirección apunta nuestra cabeza en cualquier circunstancia y ambiente.

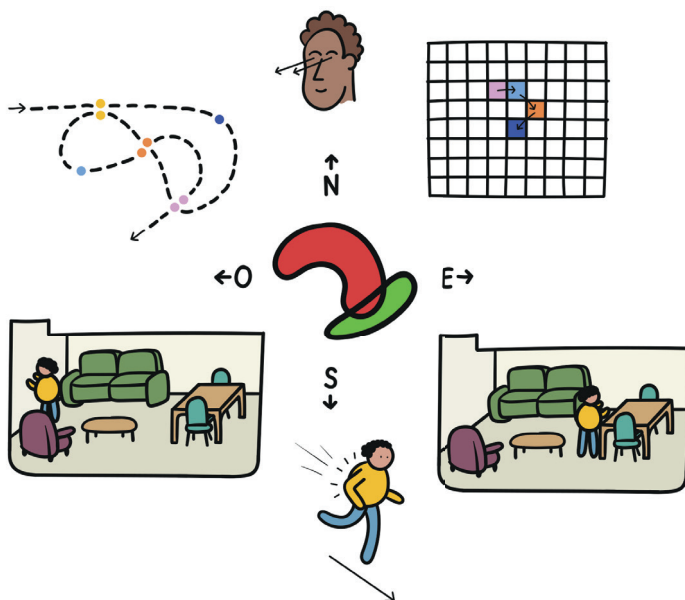
Además, también se han descubierto otro tipo de neuronas, bautizadas como "células de límite o borde", ya que se activan cuando nos acercamos a los límites del escenario en donde nos movemos. Por ejemplo, cuando nos aproximamos a las paredes en una habitación o cuando nos acercamos a la valla en un parque.

Y otras neuronas que se activan cuando nos topamos con un obstáculo; por ejemplo, una pared en un laberinto que nos impide seguir avanzando y nos obliga a cambiar de dirección.

Y es posible que haya aún más tipos de neuronas con funciones específicas que todavía no han sido identificadas.

Todas estas neuronas están conectadas entre sí. De este modo, el "GPS del cerebro" integra toda la información y la procesa conjuntamente...

...Y al hacerlo nos permite orientarnos eficazmente por el entorno por el que nos desplazamos, ya sea conocido o desconocido, despejado o laberíntico.



### RETO 4: Una visita relámpago al zoológico

Traza la ruta óptima para, desde la entrada, poder ver a las jirafas, los gorilas, los leones y llegar a tiempo para ver el espectáculo del delfinario.



Si no lo ves bien, puedes descargar el mapa del zoo aquí: <https://www.zoo.pt/pt/visitar/mapa-do-zoo/>



# LOS LABERINTOS DE LA NEUROCIENCIA

La neurociencia es una disciplina que combina la biología, la psicología, la química, la física, la ingeniería y otras áreas de conocimiento para estudiar la estructura, función y desarrollo del sistema nervioso.

Al investigar las conexiones entre la actividad cerebral y los procesos mentales, los neurocientíficos han revelado cómo los sentidos recopilan información del entorno y cómo el cerebro procesa y organiza esa información para construir nuestra experiencia consciente. La neurociencia ha desentrañado los mecanismos celulares detrás de la visión, el oído, el tacto y otros sentidos, revelando cómo nuestras percepciones pueden ser influidas por factores internos y externos (¿Recuerdas la Actividad 1?, pues éste es un buen momento para recuperarla). Estos hallazgos nos ayudan a comprender cómo percibimos el mundo de manera subjetiva y cómo nuestra realidad puede diferir de la realidad objetiva.

La neurociencia también ha realizado importantes contribuciones en el estudio y comprensión de las enfermedades neurológicas y psiquiátricas. A través de diversas investigaciones y avances científicos, ha proporcionado información crucial sobre las causas, los mecanismos subyacentes y las posibles estrategias de tratamiento para estas enfermedades.

Los laberintos, al igual que los puzzles o la realidad virtual, han demostrado ser beneficiosos para estimular y mejorar las funciones cognitivas y motoras y ofrecen posibilidades de ayuda en el tratamiento de diversas enfermedades y trastornos del sistema nervioso.

Por eso es tan importante entender cómo funciona en detalle el navegador interno del cerebro. Porque, entonces, los laberintos se convierten en un instrumento para el diagnóstico y/o tratamiento de enfermedades y trastornos mentales. De este modo, y conforme la neurociencia ha ido profundizando en cómo el cerebro se enfrenta, procesa y resuelve los laberintos, éstos se están convirtiendo en una herramienta cada vez más aplicada no sólo en la investigación del sistema nervioso sino también para diagnosticar desórdenes neurológicos y como terapia para tratarlos.

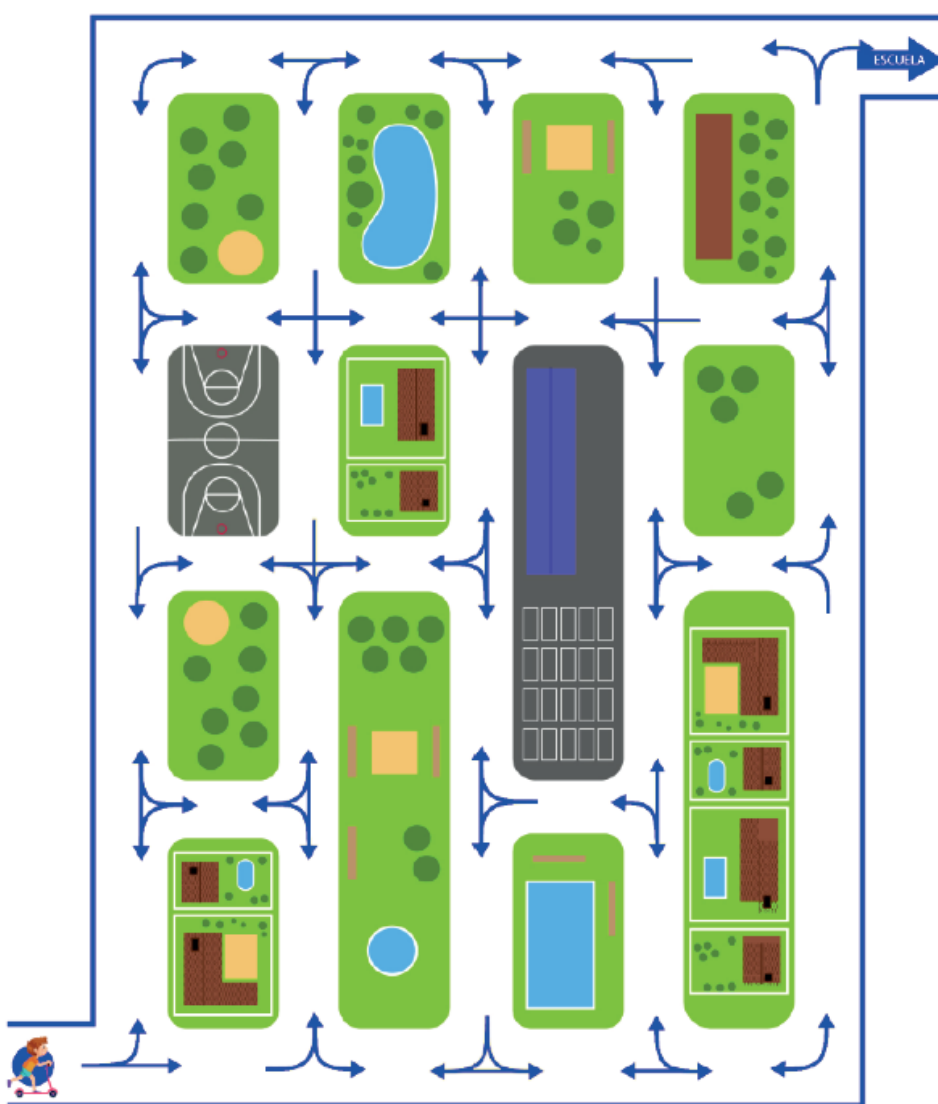


En este sentido, uno de los grandes avances se produjo en el año 2011 cuando un estudio demostró que esta capacidad se puede entrenar. Mejor aún, que la capacidad para orientarse aumenta al entrenarla. Un descubrimiento que abrió las puertas a su aplicación como terapia para el cerebro.

Otro reciente estudio efectuado en el año 2021 ha confirmado que navegar por entornos laberínticos virtuales mejora la memoria a largo plazo de los individuos de edad avanzada. Lo que abre la puerta a su futura aplicación para paliar, ralentizar y combatir la pérdida de memoria asociada a la edad y como posible tratamiento de problemas neurodegenerativos como el alzhéimer.

### ACTIVIDAD 5: Un laberinto para entrenar a tu cerebro

A la vista de lo anterior, te proponemos un último y "memorable" laberinto para que fijas en el cerebro los contenidos de este cuaderno (o, al menos, tardes más en olvidarlos).



Viaja en tu patinete desde la entrada a la salida (que lleva a la escuela) a través de las calles de la ciudad, optando en cada cruce por una de las direcciones permitidas, sin poder hacer giros en U ni desandar el tramo recién recorrido (Solo se puede girar en aquellos cruces que implementen la trayectoria curva. Cuando las flechas forman un ángulo recto, no está permitido).



GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN

FECYT INNOVACIÓN



MUNCYT MUSEO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA



AÑO CAJAL