

LOS LABERINTOS DEL CEREBRO



Exposición temporal
LOS LABERINTOS DEL CEREBRO

Museo Nacional de Ciencia y Tecnología
(MUNCYT) A Coruña

Edición: Museo Nacional de Ciencia y Tecnología, MUNCYT. Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología, FECYT. 2024

Diseño y maquetación: Intervento

e-NIPO: 151240011

Publicación incluida en el programa editorial de la Secretaría General Técnica del Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades del año 2024.

Catálogo de publicaciones de la Administración General del Estado:

<https://cpage.mpr.gob.es>.

Síguenos en:



@muncyt



@muncyt



@muncyt_es

Índice

Introducción	5
Los laberintos del cerebro	10
La exposición	41
Los laberintos del cerebro en pósteres	63
Interactivos	75
Solucionario	91
Álbum fotográfico	99
Bibliografía	104
GALEGO	108
ENGLISH	195

INTRODUCCIÓN

Fernando Luis Fontes Blanco

Director MUNCYT

Recuerdo como si fuera hoy la primera vez que tuve la intensa emoción y el privilegio de tener en mis manos la Copa de Aison. Fue en 2008, cuando, como facultativo-conservador del Museo Arqueológico Nacional, me encargaron coordinar el montaje de la exposición temporal *Tesoros del MAN*, inaugurada con ocasión del cierre parcial del museo debido a las obras de rehabilitación del inmueble que se realizaban en aquel momento.

Este magnífico *kylix* de cerámica ática, de figuras rojas, de mediados del s. V antes de nuestra era, está decorado con las hazañas de Teseo, el héroe mítico que derrotó al Minotauro, la bestia híbrida, devoradora de humanos, que el ambicioso rey Minos había encerrado en el intrincado laberinto construido en Cnossos (Creta) por el arquitecto Dédalo, y del que Teseo escaparía gracias al hilo que le proporcionó su enamorada, la princesa Ariadna, hija de Minos. En el medallón de la copa, Teseo arrastra al Minotauro vencido fuera del laberinto y se lo ofrece a Atenea, la diosa que da nombre a la polis ática de la que procede el joven héroe. Esta copa de cerámica griega es una de las obras maestras de la colección del Museo Arqueológico Nacional, un bien cultural patrimonio de la Humanidad y la obra cumbre del pintor Aison, hasta el punto de que es la única obra suya conocida en la que escribió su firma.



Teseo, tras salir del laberinto, muestra a Atenea el Minotauro ya vencido.

Copa de Aison.

Técnica de figuras rojas.

420 a.C. Ática (Grecia).

©Museo Arqueológico Nacional. Inv. 11265.

Foto: Fernando Velasco Mora.

El mito del Minotauro y el Laberinto ha cautivado la mente de la civilización occidental desde entonces hasta nuestros días. Uno de los ejemplos más bellos de la historia del arte universal es la *Suite Vollard*, un conjunto de 100 estampas en estilo neoclásico grabado por Pablo Picasso, y producido a partir de 1930, denominado así por el marchante que la encargó, Ambroise Vollard. La suite es considerada la serie de grabados más importantes e influyentes del arte moderno. La reproducción de un grabado de la *Suite Vollard*, del genial artista malagueño del que ahora celebramos el 50º aniversario de su fallecimiento, preside mi dormitorio desde hace muchos años y en ella se muestra una escena báquica con el Minotauro intentando seducir a una ninfa, antes de ser derrotado y vencido por el héroe.

Los laberintos siempre han estado presentes de un modo u otro en nuestro imaginario cultural, bien sea en los mosaicos romanos recogiendo la lucha entre Teseo y la bestia híbrida, en los pavimentos de las catedrales románicas y góticas o en los jardines palaciegos barrocos, neoclásicos y románticos. Artistas, diseñadores y creadores han recogido ese imaginario y lo han usado, como ejemplo, en algunas de sus creaciones. En literatura, la presencia de laberintos en la obra de Jorge Luis Borges es tan importante que se creó la expresión *laberinto borgiano* como símil literario. En *La Biblioteca de Babel*, inspiración reconocida por Umberto Eco para su novela *El Nombre de la Rosa*, Borges imagina el laberinto de palabras definitivo: una biblioteca infinita que alberga todos los libros y todas las combinaciones de letras posibles. En *La Historia Interminable* de Michael Ende aparece el ‘Templo de las Mil Puertas’, una sucesión interminable de habitaciones idénticas excepto por dos puertas definidas por oposición: una enorme y otra diminuta, una helada y otra ardiente. En *El General en su Laberinto*, Gabriel García Márquez, hace referencia a la comparación del laberinto con el enigma de la muerte, el laberinto del que el ser humano no puede salir jamás.

En la historia del arte, destacamos la obra alegórica *El Laberinto del amor* pintada por Tintoretto entre 1550 y 1560 (*Royal Collection Trust*, Reino Unido), que representa varias escenas bíblicas relacionadas con el amor terrenal en un laberinto ajardinado imaginario. Dos siglos después, encontramos los laberintos imposibles e hipnóticos de las estampas de Giovanni Battista Piranesi en sus *Prisiones imaginarias* (1745), de las cuales no se puede escapar, que se emparentan, ya en la Edad Contemporánea, con los laberintos imposibles de M. C. Escher (1898-1972), producto de su imaginación desbordante, que han atrapado al público de todas las edades desde su creación. En el cine, los laberintos de setos están presentes en muchas películas como en la versión de Walt Disney del clásico de Lewis Carroll *Alicia en el País de las Maravillas* (*Alice in Wonderland*, 1951) donde Alicia se pierde en los laberínticos jardines de la Reina de Corazones o, también, la angustiada y terrorífica persecución en el laberinto de setos de *El Resplandor* (*The Shinning*, Stanley Kubrick, 1980), que ha pasado a la historia del séptimo arte. El mito del laberinto, Teseo y Ariadna, también está presente en la inquietante *Origen* (*Inception*, Christopher Nolan, 2010) e inspiró a Guillermo del Toro para la premiada *El Laberinto del fauno* (2006). Los laberintos imposibles de Piranesi y Escher inspiraron a su vez a Jim Henson para su inclasificable *Dentro del laberinto* (*Labyrinth*, 1986), protagonizada por Jennifer Connelly y David Bowie, y también a Vincenzo Natali para crear la claustrofóbica y aterradora *Cube* (1997).

Los juegos y pasatiempos laberínticos forman parte del aprendizaje en la cultura occidental desde finales del s. XIX y principios del s. XX. En los años 60 y 70 del pasado siglo se empezarán a popularizar unos juegos de mesa o juegos de rol denominados *dungeons crawls* o juegos de exploración de mazmorras, los cuales alcanzaron gran popularidad, siendo los más famosos *Dungeons & Dragons* (1974) y *Hero Quest* (1989). Como no podía ser de otra forma, los videojuegos también

incorporaron los laberintos en su diseño desde el comienzo: *Pac-man* o *Comecocos*, desarrollado en los 80, fue el *arcade* más exitoso de todos los tiempos y *Snake* alcanzó una enorme popularidad comercializado en los terminales móviles Nokia. Yo mismo, durante mi adolescencia y parte de la juventud, pasé cientos de horas en interminables partidas de *Wolfenstein 3-D*, *Doom* o *Quake*, persiguiendo a mis amigos por intrincados laberintos virtuales que previamente había memorizado.

Lo que no podía imaginar es que, años después, cuando, recién incorporado a la dirección del Museo Nacional de Ciencia y Tecnología, el personal técnico de la sede de A Coruña, me mencionó la exposición temporal en la que se estaba trabajando, se iban a unir mi pasión por los laberintos, la arqueología y el arte con mi pasión por la ciencia. Trabajando en este proyecto, aprendí la importancia de los laberintos para el desarrollo de teorías matemáticas, experimentos científicos y para su aplicación a la neurociencia y al estudio del cerebro y las enfermedades mentales. La casualidad ha hecho que este proyecto expositivo temporal coincida en el tiempo con la celebración del ‘Año Cajal’, dedicado a Santiago Ramón y Cajal (1852-1934), considerado el padre de la neurociencia. De este modo, y a través de los tiempos, se unen el mito y la leyenda con la razón y el conocimiento científico, para adentrarnos, de una forma lúdica y apasionante, en el conocimiento de nuestro cerebro y, por ende, de nosotros mismos.

LOS LABERINTOS DEL CEREBRO

F. Javier Cudeiro Mazaira

Comisario de la exposición

Los hombres deben saber que del cerebro y sólo de él vienen las alegrías, las delicias, el placer, la risa y también, el sufrimiento, el dolor y los lamentos.

Y por él, adquirimos sabiduría y conocimiento, y vemos y oímos y sabemos lo que está bien y lo que está mal, lo que es dulce y lo que es amargo. Y por el mismo órgano nos volvemos locos y deliramos y el miedo y los terrores nos asaltan.

Es el máximo poder en el hombre.

Es nuestro intérprete de aquellas cosas que están en el aire.

(Hipócrates, Corpus Hipocraticum)

Este texto, redactado hace 2.500 años por Hipócrates, uno de los padres de la medicina, podría haber sido escrito en cualquiera de los laboratorios actuales en donde modernos científicos se dedican al estudio de la estructura, la función y la patología del sistema nervioso. Nos aproxima a la idea de que todo lo que somos capaces de hacer, sentir y crear depende de la actividad de una estructura de poco más de 1.4 kg, fundamentalmente compuesta de agua, grasa y proteínas pero que, por su extraordinaria complejidad estructural, por el delicado y preciso ajuste de los miles de millones de piezas que la componen, es capaz de crear una enorme variedad de funciones tan fascinante 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.

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 y que forman

parte de circuitos locales que, a su vez, se integran en áreas que, a su vez, integran una inmensa red neuronal. Una intrincada red de conexiones que se cruzan, se juntan, divergen y crean un universo de caminos para que la actividad de las neuronas viaje por un laberíntico sistema de comunicación y, así, veamos, toquemos, seamos felices o desgraciados, sintamos compasión, ira, amor y nos reconozcamos como entes individuales con un pasado, que viven en el presente y se proyectan hacia el futuro.

El cerebro es un laberinto de laberintos. Laberinto debido a su complejísima estructura, a la vez que a la infinitud de preguntas que nos suscita sobre su función y sus dolencias. Lo que nosotros somos es a la vez un misterio y una fuente de misterios que día a día van surgiendo a medida que encontramos salidas a los retos que nos ofrece el cerebro, que, continuamente, abre puertas a lo inexplorado y nos obliga a resolver nuevos retos del conocimiento. Es por ello que el título y el contenido de esta exposición no pueden ser más pertinentes. Nos permitirá entender mejor al órgano que nos hace humanos a la vez que, utilizando los laberintos como metáfora de búsqueda y superación, poder comprender un poco más su laberíntica función y cómo ese funcionamiento puede ser mejorado mediante el uso de laberintos, incluso en la presencia de enfermedades como la demencia. Un afortunado bucle de interacción.

LOS LABERINTOS EN LA HISTORIA

Los laberintos han sido parte de la historia de la humanidad durante milenios, desempeñando un papel destacado en diversas culturas y civilizaciones. Desde los mitos y leyendas antiguas hasta la arquitectura y el arte, los laberintos han capturado la imaginación de las personas y han dejado una huella perdurable en nuestra historia colectiva (<https://www.worldhistory.org/Labyrinth/>).

El laberinto más famoso y emblemático de todos es, sin duda, el laberinto de Cnosos (Creta), asociado con la leyenda del Minotauro. Según la mitología griega, fue diseñado por el arquitecto Dédalo y encargado por el rey Minos para confinar al Minotauro, una criatura mitad hombre y mitad toro. El héroe Teseo logró ingresar al laberinto y derrotar al Minotauro, utilizando un hilo que le había dado Ariadna para encontrar la salida. Esta historia ha inspirado numerosas representaciones artísticas a lo largo de los siglos y se ha convertido en un símbolo de desafío y superación.

La leyenda nos cuenta que cuando Minos de Cnosos en Creta competía con sus hermanos por la corona, rezó a Poseidón para que le enviara un toro blanco como una señal de la bendición del dios sobre su causa. Minos debía sacrificar el toro a Poseidón, pero, encantado por su belleza, decidió conservarlo y sacrificar uno de sus toros de menor presencia. Poseidón, enfurecido por esta ingratitud, hizo que la esposa de Minos, Pasiphae, se enamorara del toro y se emparejara con él. La criatura a la que dio a luz fue el Minotauro, un ser salvaje, fuera de control y que se alimentaba de carne humana. Minos encargó entonces a Dédalo, el arquitecto, que creara un laberinto para retener al monstruo. Así se hizo, pero la bestia, aunque confinada en el laberinto, debía ser alimentada continuamente. Para este propósito, Atenas pagaba un tributo muy sangriento enviando anualmente varios jóvenes a Creta para ser introducidos en el laberinto y aplacar

la ferocidad del Minotauro. Decidido a terminar con el sufrimiento de su pueblo, Teseo, hijo del rey Egeo, se ofreció como uno de los sacrificios con la esperanza de dar muerte a la bestia.

Una vez en Creta, Teseo atrajo la atención de Ariadna, la hija de Minos, que se enamoró de él y le dio en secreto una espada y un ovillo de hilo. Le dijo que atara el hilo en la abertura del laberinto antes de adentrarse en él y, así, después de matar al Minotauro, podría seguirlo de vuelta a la libertad. Según la leyenda, Teseo mata al monstruo, salva a los jóvenes que habían sido enviados con él y escapa de Creta con Ariadna.

Además de la mitología griega, los laberintos también tienen una presencia significativa en otras culturas antiguas. En Egipto, por ejemplo, los jeroglíficos y los grabados en tumbas representaban laberintos como símbolos de transición y renacimiento. En la antigua Roma, se construyeron laberintos en mosaicos y frescos y se utilizaron como espacios para la reflexión y la meditación.

En Egipto, el más famoso es el laberinto de Hawara. Esta construcción era tan impresionante que, según Heródoto, rivalizaba con cualquiera de las maravillas del mundo antiguo. El laberinto era un recinto que formaba parte de un complejo compuesto por múltiples patios construido en Hawara por Amenemhet III, de la XII Dinastía, durante el periodo del Reino Medio (2040-1782 a.C.). Se trataba del complejo mortuario más grandioso e intrincado que cualquier otro construido hasta entonces. Heródoto lo menciona así:

Yo mismo lo vi y es una maravilla que no se puede describir con palabras... Tiene doce patios techados con puertas enfrentadas, seis al norte y seis al sur y en línea continua. Los pasadizos que atraviesan las salas y las sinuosas entradas y salidas a través de los patios, en su extrema complicación, nos causaron innumerables maravillas a medida que los recorríamos, desde el patio a las salas,

y desde las salas a los corredores con columnas, y luego desde estos corredores a otras salas de nuevo, y desde las salas a otros patios después. El techo del conjunto es de piedra, al igual que las paredes y éstas están llenas de figuras grabadas, y cada patio está rodeado de pilares de piedra blanca, ajustados con gran exactitud. En la esquina donde termina el laberinto hay, cerca, una pirámide de 240 pies de altura y grabada con grandes animales. El camino hacia ella es subterráneo. (Historias, II.148)

<https://www.worldhistory.org/Labyrinth/>

A medida que avanzaba la historia, los laberintos continuaron teniendo un impacto en la arquitectura y el diseño. En la Edad Media, las catedrales góticas a menudo presentaban diseños laberínticos en el pavimento, que los peregrinos recorrían en busca de penitencia y espiritualidad. El laberinto más famoso de este período es el de la catedral de Chartres, Francia.

Durante el Renacimiento, el interés por los laberintos se renovó, y se crearon jardines laberínticos en toda Europa. Éstos, como los famosos jardines de Versalles, ofrecían a los visitantes un entorno lúdico y desafiante para perderse y explorar. Los laberintos también se volvieron populares en los libros y la literatura de la época, como *Laberinto de fortuna* de Juan de Mena y *Laberinto de amor* de Diego de San Pedro.

En nuestra época, los laberintos han encontrado nuevas formas de expresión y utilidad. Desde su inclusión en videojuegos y rompecabezas hasta su uso como herramienta terapéutica en la rehabilitación y el tratamiento de diversas condiciones de salud, los laberintos siguen siendo la fuente de inspiración y fascinación a la que hemos dedicado esta exposición.

EL CONOCIMIENTO SOBRE EL CEREBRO A LO LARGO LA HISTORIA

Los primeros indicios de la investigación del cerebro se remontan a las antiguas civilizaciones egipcia y griega. Los antiguos egipcios tenían una comprensión básica de la anatomía humana y creían que el cuerpo estaba compuesto por varios órganos vitales, entre los que incluían el cerebro. Sin embargo, los egipcios no reconocían la función y la importancia del cerebro como lo entendemos en la actualidad. Creían que el corazón era el asiento de la mente y la personalidad. El cerebro se consideraba más como una masa gelatinosa y se desechaba durante el proceso de momificación. Se creía que su función principal era producir mucosidad y no se le atribuía un papel significativo en la cognición ni el pensamiento. A pesar de esta percepción errónea sobre el cerebro, los antiguos egipcios fueron avanzados en muchos aspectos de la medicina y la anatomía. Sus conocimientos sobre el cuerpo humano fueron fundamentales en la antigüedad para el desarrollo posterior de la medicina y la anatomía.

Sin embargo, fue durante el período helenístico que la comprensión del cerebro en la antigua Grecia alcanzó su punto álgido. Hipócrates (460-370 a.C.), a menudo considerado el padre de la medicina, reconoció la importancia del cerebro y afirmó que era el órgano responsable de las funciones sensoriales y motoras.

Herófilo y Erasístrato realizaron disecciones humanas y estudiaron detalladamente la anatomía del cerebro. Herófilo (335-280 a.C.), considerado el primer anatomista, se basó en la disección de cadáveres para describir grandes hallazgos anatómicos relacionados con el sistema nervioso. Descubrió las meninges, el cerebelo y clasificó los nervios en sensitivos y motores y también en voluntarios e involuntarios. Formuló, además, una hipótesis muy adelantada a su tiempo: que la inteligencia reside en el cerebro. Aristóteles (384-322

a.C.) afirmaba que esa función era competencia del corazón y defendía que el cerebro era un sistema diseñado para enfriar la sangre: ¡los sabios también yerran! Herófilo consiguió diferenciar los nervios de los vasos sanguíneos y ligamentos, ganando nuevamente la partida a Aristóteles, que no los distinguía de los tendones. Por su parte, Erasístrato (304-250 a.C.) abandonó la teoría humoral: fue un impulsor de la anatomía y fisiología y una figura importante de la medicina alejandrina de su época dorada por sus acertadas descripciones sobre la anatomía corporal.

Durante la Edad de Oro del Islam, que abarca aproximadamente desde los siglos VIII al XIII, los científicos y médicos árabes realizaron avances significativos en diversos campos, incluyendo la medicina. Inspirados en la tradición médica griega y romana, realizaron investigaciones en anatomía, fisiología y patología y reconocieron la importancia del cerebro en el funcionamiento del cuerpo y la mente.

Uno de los médicos más influyentes de la época fue Ibn al-Nafis, quien vivió en el siglo XIII. Ibn al-Nafis desafió la teoría galénica prevaleciente en ese momento y propuso que la sangre pasaba a través de los pulmones en lugar de a través del tabique del corazón. Si bien su trabajo se centró más en la circulación sanguínea, también mencionó la importancia del cerebro y su relación con el sistema nervioso.

Otro médico árabe destacado fue Ibn Sina, también conocido como Avicena, quien vivió en el siglo XI. Avicena fue autor de la obra maestra *El canon de la medicina*, que se convirtió en un texto fundamental durante siglos. En su obra, Avicena discutió la anatomía y la función del cerebro, describiendo las estructuras cerebrales y su relación con las facultades cognitivas y sensoriales. Además, los árabes también realizaron contribuciones en el campo de la oftalmología, que estaba estrechamente relacionado con el estudio del cerebro. Investigaron la conexión entre la visión y el cerebro y reconocieron la importancia de la corteza visual en la interpretación de los estímulos visuales.

La Revolución Científica que tuvo lugar entre los siglos XVI y XVIII fue un período de gran avance y transformación en el ámbito científico. Durante este tiempo, se produjeron importantes cambios en la forma en que se entendía y se investigaba el mundo natural, incluyendo el estudio del cerebro humano. Esta época fue impulsada por el pensamiento crítico, la observación sistemática y el método científico. Los estudiosos adoptaron una actitud más empírica y se alejaron de la tradición y la especulación filosófica y, en lugar de depender únicamente de teorías y autoridades antiguas, confiaron en la experimentación para comprender los fenómenos naturales.

En el contexto del estudio del cerebro humano, la Revolución Científica trajo consigo nuevos enfoques y métodos de investigación. Los científicos utilizaron la disección anatómica y la observación directa para comprender la estructura y función del cerebro humano. Este enfoque más práctico y basado en la evidencia permitió un mayor avance en su conocimiento.

En el siglo XVI, Andrés Vesalio publica su *De humani corporis fabrica*, una obra capital que representa un punto y aparte en el estudio de la anatomía humana y, por tanto, del cerebro. Esta extensa obra (nada menos que diez tomos) sentó las bases de la anatomía cerebral moderna. Sin embargo, hasta el siglo XVII la investigación del cerebro no dio un gran salto adelante hasta los trabajos pioneros de científicos como René Descartes y Thomas Willis. Descartes propuso la teoría del dualismo mente-cuerpo, sugiriendo que la mente y el cerebro eran entidades separadas pero interconectadas. Willis, por su parte, realizó estudios detallados sobre la anatomía y la función del cerebro, identificando importantes estructuras y estableciendo las bases de la neuroanatomía moderna. Además, en este siglo, la invención del microscopio por Antonie van Leeuwenhoek permitió a los científicos cambiar de forma extraordinaria la escala de sus observaciones, que hasta el momento eran macroscópicas, y estudiar las células y tejidos

cerebrales con detalle sin precedente. Esto condujo a importantes descubrimientos en la estructura y función del cerebro, sentando las bases de la neuroanatomía moderna y pavimentando el camino que, años después, transitaría uno de los mayores genios de la historia de la ciencia, don Santiago Ramón y Cajal, a quien nos referiremos más adelante.

Ya en el siglo XVIII, Giambattista Morgagni, autor del primer libro de anatomía patológica, propuso a la comunidad científica una idea extraordinaria al relacionar, por primera vez, las enfermedades con alteraciones de la anatomía normal; por ejemplo, afirmó que la apoplejía estaba causada por lesiones en los vasos cerebrales. En el siglo XVIII, los avances en la física y la química también influyeron en el estudio del sistema nervioso. Por ejemplo, la electricidad y los fenómenos electromagnéticos captaron la atención de los científicos, que comenzaron a explorar las bases eléctricas de la actividad cerebral. Experimentos como los de Luigi Galvani sobre la estimulación eléctrica de los músculos sentaron las bases para una comprensión más profunda de la actividad eléctrica del cerebro, lo que, a partir del siglo XX, rendiría hallazgos extraordinarios para conocer el funcionamiento íntimo de las neuronas y los circuitos de los que forman parte, abriendo un gran futuro para entender procesos fundamentales como la comunicación interneuronal, las bases de múltiples patologías y la plasticidad cerebral, sustrato de la memoria, el aprendizaje y la neurorehabilitación.

El siglo XIX fue testigo de importantes avances en el estudio del cerebro humano. El desarrollo de técnicas de tinción permitió a científicos como Camillo Golgi y Santiago Ramón y Cajal examinar cortes de tejido nervioso, analizar su estructura íntima y comprender que está compuesto por células individuales que se comunican entre sí. Cajal fue el gran artífice de éste y otros descubrimientos seminales que después comentaremos al hablar del genio de Petilla de Aragón.

A medida que ingresamos en el siglo XX, el estudio del cerebro humano se benefició enormemente de los avances tecnológicos. Desde el registro del electroencefalograma por Hans Berger en 1924, que permitió la medición de las señales eléctricas generadas por el cerebro, abriendo la puerta al estudio de las ondas cerebrales y la actividad eléctrica que se beneficiaría, hasta nuestros días, gracias a los gigantescos saltos en materias como la electrónica y la computación.

En las décadas siguientes, la investigación del cerebro se vio impulsada por el desarrollo de técnicas de neuroimagen, como la tomografía computarizada y la resonancia magnética. Estas técnicas impulsaron avances clave en la medicina, contribuyendo a salvar millones de vidas y permitiendo a los investigadores observar el cerebro en vivo y mapear regiones específicas involucradas en funciones cognitivas, emocionales y motoras (para una revisión sobre estudio del cerebro a lo largo de la historia consultar Duque-Parra 2001; Blanco 2014).

CAJAL Y EL ORIGEN DE LA MODERNA NEUROCIENCIA

Santiago Ramón y Cajal, considerado el padre de la neurociencia moderna, fue un destacado científico español que revolucionó nuestra comprensión del sistema nervioso. A través de sus investigaciones, demostró la existencia de células nerviosas individuales, conocidas desde muy poco después como “neuronas”, sentó las bases de la organización general del cerebro y con ello abrió la puerta al estudio sistemático de la función cerebral. La importancia de Cajal en la neurociencia moderna radica en su contribución fundamental en tres áreas principales: la utilización y perfeccionamiento de la tinción de Golgi (y desarrollo posterior de otras técnicas histológicas complementarias), la teoría de la neurona y la formulación de principios básicos de la plasticidad cerebral.

1. En primer lugar, Cajal empleó con maestría y perfeccionó la técnica de tinción de Golgi, que permitía visualizar las neuronas de manera detallada bajo el microscopio. Esta caprichosa técnica, que implica la impregnación de las células nerviosas con sales de plata, proporcionó imágenes claras de las estructuras neuronales, como el soma, las dendritas, las espinas dendríticas y los axones. Gracias a esta técnica, Cajal pudo describir y dibujar las complejas conexiones y ramificaciones de las neuronas, lo que nos permitió comprender la organización y la arquitectura del cerebro de una manera sin precedentes. Aquí es donde Cajal demuestra su genialidad. Mediante las imágenes estáticas observadas a través de un microscópico monocular muy rudimentario, fue capaz de concebir un cerebro en movimiento. Encontró lógica viviente en las células y fibras nerviosas que observaba prediciendo cómo se comportarían *in vivo* las estructuras que estudiaba y de dónde y hacia dónde fluía la información. Su técnica mejorada de la tinción de Golgi (1888) se convirtió en una herramienta fundamental en la investigación neurocientífica en todo el mundo.
2. En segundo lugar, lo que conocemos como “teoría de la neurona” demostrada por Cajal (1888) fue una idea revolucionaria que cambió la forma en que comprendemos el sistema nervioso. Antes de sus investigaciones, prevalecía la creencia defendida por Golgi (y la práctica totalidad de investigadores de su época, que eran reticularistas) de que el tejido nervioso era un entramado continuo (una red) y no estaba formado por células individuales. Sin embargo, Cajal, con su minucioso trabajo microscópico, demostró que el sistema nervioso está compuesto por células separadas e individualmente funcionales, las neuronas, y describió cómo se conectan entre sí a través de los espacios que hoy conocemos como sinapsis. Además y como complemento indisoluble de la “teoría neuronal”, Cajal enunció la denominada “ley de polarización dinámica de las neuronas” (1892-1895), en

la que, estudiando cerebros fijados (y por lo tanto estáticos, muertos), desentrañó la dirección en que los impulsos nerviosos debían orientarse, lo que marcó con las famosas flechas de sus dibujos. Dio así un contenido funcional a sus observaciones sobre conexiones estructurales: esas flechas explicaban muchas de las funciones que se observan en la fisiología cerebral. Con estos avances cruciales, Cajal sentó las bases para la neurociencia moderna y nos permitió entender cómo se transmiten los impulsos eléctricos y las señales químicas a través de estas células, abriendo el camino al estudio sistemático de las funciones y disfunciones cerebrales.

3. En tercer lugar, Cajal fue pionero en la formulación de principios básicos de la plasticidad cerebral (1895). Observó que las conexiones entre las neuronas pueden modificarse a lo largo del tiempo en respuesta a la experiencia y el aprendizaje. Esta idea desafió la concepción predominante de que el cerebro adulto era estático e inmutable. Cajal lo definió, por el contrario, como un órgano dinámico que puede reorganizarse y adaptarse, idea que hoy conocemos como plasticidad cerebral. Sus investigaciones sentaron las bases para futuros estudios sobre la capacidad del cerebro para cambiar en respuesta a estímulos ambientales, lesiones y enfermedades.

En resumen, la importancia de Santiago Ramón y Cajal en la neurociencia moderna es inmensa. Sus contribuciones en la teoría de la neurona, la ley de polarización dinámica de las neuronas, el desarrollo cerebral y la formulación de principios de plasticidad cerebral han sido fundamentales para el entendimiento actual del sistema nervioso. Cajal no sólo estableció las bases para el estudio de la estructura y función del cerebro sino que también sentó las bases para el desarrollo posterior de muchas otras áreas de investigación. No cabe duda de que sin su enorme trabajo y sin las aportaciones de los más destacados

miembros de la escuela que creó, la neurociencia actual no sería la misma (para entender mejor la obra de Cajal, su escuela y su legado ver: de Castro et al. 2007; Fuster 2007; Swanson y Lichtman 2016; de Castro 2019; Nombela et al. 2021).

Este año celebramos el 150^º aniversario del nacimiento de don Santiago. Sirvan estas letras y el espíritu de esta exposición, como homenaje al maestro y padre de la neurociencia que aunó a la grandeza científica de su obra, la no menos gran calidad artística de sus dibujos que han maravillado al mundo (de Castro, 2021). En palabras de Fernando de Castro (1896-1967), uno de sus discípulos más destacados, “con los dibujos de Cajal, la ciencia se convierte en arte” (De Felipe, 2006).

IMPORTANCIA DE LA NEUROCIENCIA

El laberíntico cerebro humano, con su complejidad y misterio, ha sido objeto de fascinación durante siglos. Sin embargo, sólo en las últimas décadas hemos comenzado a desentrañar sus secretos a través de los avances en la neurociencia, 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. A través de técnicas de vanguardia como la neuroanatomía, la neuroimagen, la electrofisiología y la genética, los neurocientíficos han podido investigar las bases neuronales de los procesos mentales y cognitivos, así como las enfermedades neurológicas y psiquiátricas.

La neurociencia, como campo de estudio que se centra en el funcionamiento del sistema nervioso con la aspiración última de entender el cerebro humano, desempeña un papel fundamental en nuestra comprensión del mundo. A través de su enfoque científico y multidisciplinario, la neurociencia nos brinda una visión única y profunda de los procesos cognitivos, emocionales y conductuales que dan

forma a nuestra experiencia y comportamiento. Nos proporciona una base sólida para comprender los aspectos fundamentales de nuestra existencia, como la naturaleza de la mente, la conciencia y el libre albedrío. Durante siglos, filósofos y pensadores han debatido sobre la relación entre la mente y el cuerpo, cuestionando si la mente es simplemente una manifestación del funcionamiento cerebral o si existe como una entidad separada. La neurociencia nos ha permitido abordar esta pregunta desde una perspectiva científica, al investigar las conexiones entre la actividad cerebral y los procesos mentales. Mediante técnicas como la neuroimagen y el registro de la actividad neuronal, los neurocientíficos han podido identificar correlatos neuronales de diferentes estados mentales y cognitivos, proporcionando evidencia empírica que respalda la idea de que la mente es producto del cerebro. Esta comprensión tiene implicaciones profundas en nuestra concepción de la identidad, la conciencia y la responsabilidad personal (para una revisión sobre la historia de la neurociencia, su importancia y su futuro, consultar Blanco 2014; Morris et al. 2016; Altimus et al. 2020).

Además de abordar la naturaleza de la mente, la neurociencia también es esencial para nuestra comprensión de la percepción y la construcción de la realidad. A través del estudio de la percepción sensorial, 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 neuronales detrás de la visión, el oído, el tacto y otros sentidos, revelando cómo nuestras percepciones pueden ser influidas por factores internos y externos. Estos hallazgos nos ayudan a comprender cómo percibimos el mundo de manera subjetiva y cómo nuestra realidad puede diferir de la realidad objetiva. Además, la neurociencia también ha investigado fenómenos como la atención, la memoria y la toma de decisiones, proporcionando

una comprensión más profunda de cómo procesamos y utilizamos la información que recibimos.

La neurociencia 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. Algunos ejemplos señeros son los siguientes:

1. Enfermedades neurológicas y trastornos psiquiátricos: la neurociencia ha desempeñado un papel fundamental en la comprensión de enfermedades neurológicas como el Alzheimer, el Parkinson y la esclerosis múltiple, entre otras. Mediante técnicas avanzadas de imagen cerebral, como la resonancia magnética funcional (fMRI) y la tomografía por emisión de positrones (PET), los investigadores han identificado cambios estructurales y funcionales en el cerebro de los pacientes con estas enfermedades. Estos hallazgos han permitido un diagnóstico más preciso y temprano, así como la identificación de posibles biomarcadores que pueden ayudar a monitorear la progresión de la enfermedad y evaluar la eficacia de los tratamientos (Waxman 2005).

De igual manera, la neurociencia ha ampliado nuestra comprensión de trastornos psiquiátricos como la depresión, la ansiedad, el trastorno bipolar y la esquizofrenia (Ross et al. 2015; Travis 2019). A través de estudios de neuroimagen (Hendler et al. 2009), se han identificado diferencias en la estructura cerebral, la conectividad funcional y la actividad neuronal en individuos con estos trastornos. Estos hallazgos han ayudado a desterrar la noción de que los trastornos psiquiátricos son meramente problemas de “mente” y han demostrado que también tienen bases biológicas y neuroquímicas. Además, ha contribuido al

desarrollo de nuevos enfoques terapéuticos enfocados tanto a la neurología como a la psiquiatría, algunos invasivos, como la estimulación cerebral profunda mediante electrodos implantados en el cerebro o mediante ultrasonidos focalizados, y otros no invasivos, como la neuromodulación (estimulación magnética transcraneal o estimulación mediante corriente), que han demostrado ser de gran utilidad para entender el funcionamiento del sistema nervioso y para el tratamiento de patologías refractarias a los abordajes más habituales, como el Parkinson, el temblor esencial, la depresión o el trastorno obsesivo compulsivo (Rossi et al. 2021; Baek et al. 2022; Neumann et al. 2023; Sheth et al. 2023).

2. Plasticidad cerebral y rehabilitación: la neurociencia ha revelado la notable capacidad del cerebro para la adaptación y para la reorganización neuronal. Esto ha tenido importantes implicaciones en la rehabilitación de pacientes con daño cerebral, como en aquéllos que han sufrido un accidente cerebrovascular o una lesión traumática. Los estudios han demostrado que el cerebro puede reasignar funciones a áreas no dañadas y establecer nuevas conexiones neuronales en respuesta a la terapia y la rehabilitación. Estos hallazgos han llevado al desarrollo de enfoques de rehabilitación más efectivos y personalizados que aprovechan la plasticidad cerebral para maximizar la recuperación y mejorar la calidad de vida de los pacientes (Khan et al. 2016; Ferrazzoli et al. 2022).
3. Farmacología y desarrollo de medicamentos: la neurociencia ha sido fundamental en el desarrollo de medicamentos para el tratamiento de enfermedades neurológicas y psiquiátricas (Trist et al. 2014; Yeung et al. 2018). Los avances en la comprensión de los mecanismos de acción de los fármacos y las interacciones entre los neurotransmisores han permitido el desarrollo de

tratamientos más específicos y efectivos. Asimismo, la neurociencia ha contribuido al descubrimiento de nuevos blancos terapéuticos y ha facilitado la evaluación de la eficacia y seguridad de los medicamentos mediante estudios clínicos y preclínicos.

4. Otro ámbito en el que la neurociencia es crucial es la tecnología (Cometa et al. 2022). La comprensión de los principios fundamentales del cerebro humano nos brinda la oportunidad de desarrollar nuevas tecnologías bio-inspiradas. La neuroingeniería, por ejemplo, busca aplicar los conocimientos neurocientíficos para diseñar sistemas y dispositivos que puedan interactuar con el cerebro de manera segura y efectiva. Estos avances en la neurotecnología han llevado al desarrollo de prótesis biónicas controladas por la mente, interfaces cerebro-computadora para ayudar a personas con discapacidades y dispositivos de neuroestimulación para tratar trastornos neuropsiquiátricos. Al mismo tiempo, la neurociencia también ha contribuido al campo de la inteligencia artificial (Yan et al. 2023), permitiendo el desarrollo de algoritmos y redes neuronales artificiales inspiradas en el cerebro humano, lo que ha supuesto avances significativos en múltiples campos como el abordaje de enfermedades neurodegenerativas, reconocimiento de voz, procesamiento del lenguaje natural y visión por computadora (Cudeiro et al. 2019).
5. La educación es otro terreno en el que la neurociencia puede desempeñar un papel transformador en el futuro de la humanidad (Dubinsky et al. 2019). Comprender cómo aprende el cerebro puede ayudarnos a desarrollar métodos de enseñanza más efectivos y adaptados a las necesidades individuales de los estudiantes. La neurociencia cognitiva ha revelado que el cerebro humano tiene una gran plasticidad y capacidad para el aprendizaje a lo largo de toda la vida. Esto implica que los métodos educativos deben centrarse en la estimulación de las capacidades cognitivas y

emocionales de los estudiantes, así como en la promoción de un entorno enriquecedor que favorezca el desarrollo cerebral óptimo. La integración de los hallazgos neurocientíficos en la práctica educativa contribuye a incrementar la retención de información, fomentar la creatividad y mejorar la calidad de la educación en general.

LABERINTOS PARA MEJORAR EL CEREBRO

Los laberintos, al igual que los puzles o la realidad virtual, han demostrado ser beneficiosos para estimular y mejorar las funciones cognitivas y motoras (Clemenson y Stark, 2015; Wais et al. 2021) y ofrecen posibilidades de ayuda en el tratamiento de diversas enfermedades y trastornos del sistema nervioso. Los laberintos son complejas tareas visomotoras de planificación y resolución de problemas que requieren encontrar un camino desde el principio hasta el final lo más rápidamente posible. Los laberintos no son verbales, son fáciles de entender y utilizar, relativamente independientes del nivel educativo y adecuados para una amplia gama de adultos mayores y personas con deterioro cognitivo. Las tareas de laberinto requieren una interacción entre los procesos cognitivos y motores y son similares a las actividades cotidianas complicadas que requieren planificación y resolución de problemas. La resolución de laberintos requiere múltiples procesos cognitivos que incluyen la función atencional, visoespacial y ejecutiva (planificación, previsión y resolución de problemas), así como la función visomotora (para una revisión reciente, ver Nef et al. 2020).

Hasta la fecha, las pruebas de laberinto se han utilizado en algunos estudios para evaluar el funcionamiento cognitivo y motor y han demostrado sensibilidad para diferenciar el envejecimiento normal saludable del deterioro cognitivo leve, la demencia de Alzheimer y la enfermedad de Parkinson. Además, los rendimientos obtenidos

al resolver laberintos se han mostrado como un sólido predictor de la capacidad de funcionamiento diario en adultos mayores (Nef et al. 2020).

Una de las áreas en las que los laberintos han mostrado su utilidad es en la rehabilitación de pacientes con lesiones cerebrales traumáticas (Nobre de Paula et al. 2017; Massetti et al. 2018). Estas lesiones pueden afectar la función motora, la memoria, la atención y otras habilidades cognitivas. Los laberintos proporcionan un entorno seguro y estructurado para que los pacientes practiquen habilidades motoras y cognitivas, mejorando la coordinación, el equilibrio y la planificación.

Asimismo, los laberintos, puzzles y la realidad virtual también se han utilizado en el tratamiento de enfermedades neurodegenerativas, como las demencias (Devanand et al. 2022; Petrella et al. 2023) y la enfermedad de Parkinson (Marotta et al. 2022) con resultados aún inconclusos, pero prometedores. Estas condiciones se caracterizan por la pérdida progresiva de funciones cognitivas y motoras. Los laberintos ofrecen un entorno estimulante que puede ayudar a mantener y mejorar la función cognitiva, la memoria y la movilidad de los pacientes.

Además, los laberintos han atraído la atención de los especialistas sobre determinados trastornos neuropsiquiátricos, como el trastorno del espectro autista (TEA) (Evasari et al. 2017; Shaughnessy 2022) y el trastorno por déficit de atención e hiperactividad (TDAH) (<https://scopepsych.com.au/adhd/adhd-treatment-the-effectiveness-of-finger-labyrinths/>; <https://www.relax4life.com/labyrinth-articles/>). Estas condiciones se caracterizan por dificultades en el procesamiento sensorial, la atención y la regulación emocional. Los laberintos podrían proporcionar estímulos sensoriales y desafíos cognitivos para ayudar a mejorar la integración sensorial, la concentración y la autorregulación emocional. Las ideas a este respecto son muy interesantes, pero

claramente queda un largo recorrido para consolidar los hallazgos preliminares.

Es importante destacar que los laberintos como terapia deben ser diseñados y supervisados por profesionales de la salud especializados. Cada paciente requiere un enfoque individualizado y adaptado a sus necesidades y capacidades. Los laberintos terapéuticos pueden variar en complejidad, tamaño y diseño para adaptarse a las habilidades y metas específicas de cada individuo.

MAPAS CEREBRALES PARA RESOLVER LABERINTOS

Tanto si usted se encuentra en un gran centro comercial como si se ha adentrado en los laberínticos jardines de Versalles, necesitará salir en determinado momento. Para ello no le quedará más remedio que utilizar las fantásticas posibilidades que le ofrece su cerebro. Lo primero a lo que echará mano es a la información sensorial. Quizá la visión sea la más relevante; oteará el horizonte e intentará buscar pistas visuales que le permitan orientarse y buscar una salida. Pero no hemos de menospreciar otros sentidos, como puede ser la audición: una música o el canto de un pájaro pueden ser referencias; el tacto, mediante el que reconocemos las características del suelo que pisamos y hasta el olfato, porque nos parece recordar que llegaba un olor a garrapiñadas recién hechas desde la izquierda. Como ya habrá imaginado, también necesita la memoria, porque ahí pueden estar almacenados los pequeños detalles que le permitan tomar decisiones y con los que contrastar la información sensorial que está recibiendo. Pero, además, cuenta 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. Estas

partes del cerebro son fundamentales para la memoria, pues permiten establecer la propia localización en el espacio como si se tratara de un GPS. La investigación sobre su funcionamiento ha valido un premio Nobel en el año 2014. Veamos cómo ha sido.

El trabajo del científico estadounidense John O'Keefe ha sido fundamental en el campo de la neurociencia, especialmente en lo que respecta al sistema de navegación del cerebro. Su investigación revolucionaria sobre las “células de lugar” (*place cells*, en inglés) en el hipocampo ha proporcionado una comprensión profunda de cómo el cerebro codifica y representa el espacio y la ubicación espacial. En la década de 1970, O'Keefe y su equipo llevaron a cabo experimentos utilizando ratas para investigar cómo el sistema nervioso procesa la información espacial. Descubrieron que ciertas neuronas en el hipocampo de las ratas se activaban de manera específica cuando los animales se encontraban en lugares particulares del entorno. Estas células de lugar mostraban patrones de actividad distintivos que correspondían a ubicaciones espaciales concretas. Estaban señalando en qué parte del espacio, de la habitación o, en nuestro caso, del centro comercial o de los jardines de Versalles, estamos localizados; permiten crear y mantener una representación mental del entorno, lo que proporciona la base para la navegación espacial y la memoria de lugares

(<https://www.nobelprize.org/prizes/medicine/2014/summary/>).

Posteriormente, dos científicos noruegos, el matrimonio May-Britt y Edvard I. Moser, realizaron unos hallazgos muy interesantes que completaban perfectamente los de O'Keefe. Los Moser son reconocidos por su descubrimiento de las “células de rejilla” (*grid cells*), un tipo de neurona que desempeña un papel crucial en la navegación espacial. Estas células de rejilla, ubicadas en el entorno del hipocampo y la corteza entorrinal, tienen una actividad neuronal que permite delimitar

zonas del espacio con una estructura hexagonal. Esto capacita al cerebro para crear y recordar una especie de mapa interno que nos ayuda a navegar, orientarnos en el entorno y conocer los bordes del espacio por el que nos movemos. Y no sólo eso: debido a las características especiales de otras células, también podemos estimar la dirección y la velocidad del movimiento cuando nos desplazamos a través de nuestros mapas espaciales.

El trabajo de estos autores no solo ha contribuido significativamente a nuestra comprensión de la función cerebral sino que también ha tenido un impacto importante en diversos campos. Estos son, en resumen, algunos aspectos destacados de la importancia de su trabajo:

1. Entendimiento de la cognición espacial: ha proporcionado una base sólida para comprender cómo el cerebro codifica y representa el espacio. El descubrimiento de las células de lugar y de rejilla ha permitido avances significativos en el campo de la cognición espacial y la navegación.
2. Aplicaciones en robótica e inteligencia artificial: el estudio del sistema de navegación del cerebro ha influido en el desarrollo de algoritmos y modelos utilizados en robótica y sistemas de navegación autónoma. Los principios de codificación espacial han sido aplicados en el diseño de robots que pueden mapear y navegar entornos desconocidos.
3. Implicaciones para la investigación de enfermedades cerebrales: la comprensión de cómo el cerebro codifica y representa la información espacial es relevante para el estudio de trastornos neurológicos y psiquiátricos relacionados con la memoria espacial, como las enfermedades de Alzheimer y de Parkinson. Los hallazgos de O'Keefe y el matrimonio Moser han proporcionado una base para investigar posibles disfunciones en el sistema de navegación del cerebro en estas enfermedades.

LOS LABERINTOS Y LOS VIDEOJUEGOS AL RESCATE. *SEA HERO QUEST*, UN JUEGO PARA MEJORAR

En esta exposición se ofrece información sobre lo que ha sido el estudio más grande de la historia en el que ha participado la ciudadanía: *Sea Hero Quest*.

Se trata de un proyecto dirigido originalmente por Deutsche Telecom, junto con Glitchers, UCL, UEA y Alzheimer's Research UK. El proyecto se puso en marcha para ayudar a los científicos a comprender las capacidades de navegación espacial a lo largo de la vida y recoger información en masa que les ayudara a comprender mejor lo que ocurre en las demencias, como la enfermedad de Alzheimer, en donde las dificultades de orientación son muy características. Estos datos podrían, además, contribuir al diagnóstico precoz de la enfermedad. *Sea Hero Quest*, disponible para el público a través del móvil y en realidad virtual, fue el primer juego de masas que permitió a los ciudadanos participar en una investigación científica a tan gran escala.

En el juego tenemos que trazar constantemente rutas de navegación que nos permitan llegar a nuestro destino. La información obtenida de las rutas que establecen los jugadores sumada a sus datos epidemiológicos y sociológicos (edad, raza, condición socioeconómica, etc.) es analizada por los científicos, quienes han logrado identificar patrones que han resultado muy útiles para entender las estrategias de navegación espacial y los cambios con el envejecimiento. Desde su lanzamiento en 2016, más de cuatro millones de personas de todo el mundo han jugado al *Sea Hero Quest*, lo que ha proporcionado a los científicos datos que la investigación tradicional de la demencia habría tardado siglos en recopilar.

A partir de los datos recogidos, las primeras conclusiones demostraron que las capacidades de navegación espacial empiezan a disminuir a partir de los 19 años y que existen diferencias fundamentales en las estrategias espaciales de navegación entre hombres y mujeres. Los hombres obtuvieron mejores resultados que las mujeres, pero la diferencia entre ambos sexos se redujo en los países con mayor igualdad de género.

Más aún, en un artículo que apareció en el año 2019, un equipo de científicos, utilizando los datos obtenidos en el juego, estudió los resultados de las personas genéticamente predispuestas a padecer Alzheimer, en comparación con las que no lo eran. Los resultados, publicados en la revista *PNAS* (Coughlan et al. 2019), muestran que las personas con riesgo genético de desarrollar Alzheimer pueden distinguirse de las que no lo están en determinados niveles del juego *Sea Hero Quest*. Los datos son muy relevantes porque, como nos recuerda el profesor Michael Hornberger, investigador principal del estudio, desde hoy hasta 2050 la demencia afectará a 135 millones de personas en todo el mundo y es necesario identificar cuanto antes a los afectados para iniciar intervenciones precoces y reducir su riesgo de desarrollar demencia. (<https://www.eurekalert.org/news-releases/757471>).

LOS LABERINTOS Y LA VIDA

Julio Cortázar escribe en *Rayuela*, novela extraordinaria y laberinto cambiante a elección del lector, que “el mundo no existe, hay que crearlo, como el ave fénix”. No se podría conjugar mejor en una frase la esencia del cerebro como constructor de la realidad que habitamos y arquitecto de lo que somos. Algo parecido ocurre con los laberintos, que son, cómo no, creaciones de nuestra mente y reflejan bien lo intrincado del pensamiento. Los laberintos, que nacen como un ejercicio

intelectual para detener al Minotauro, reflejan lo complejo del espíritu humano, los infinitos caminos del pensamiento, la observación, la toma de decisiones... Y, en fin, son metáfora de la búsqueda continua a la que nos conduce la existencia.

En esta exposición, ofrecemos una información rigurosa a la vez que entretenida para todos aquellos que quieran adentrarse en el conocimiento del cerebro y de los laberintos y conseguir una perspectiva muy novedosa de cómo interaccionan entre sí. Quienes la visiten podrán resolver laberintos a la vez que entenderán lo que hace su cerebro para ello y experimentar cómo un pasatiempo tan entretenido puede ser muy beneficioso para sus neuronas. Probablemente, al final, resolverán un laberinto que se plantea como parte de la vida, que no es otro que ¿a dónde vamos? Descubrirán, con Juan Ramón Jiménez, que la respuesta es tan simple como laberíntica. Esto es lo que nos dice el poeta: *“¡No corras, ve despacio, que donde tienes que ir es a ti sólo!”*.

BIBLIOGRAFÍA

Altimus CM, Marlin BJ, Charalambakis NE, Colón-Rodríguez A, Glover EJ, Izbicki P, Johnson A, Lourenco MV, Makinson RA, McQuail J, Obeso I, Padilla-Coreano N, Wells MF, for Training Advisory Committee. *The Next 50 Years of Neuroscience*. J. Neurosci. 2020; 40(1):101–106.

Baek H, Lockwood D, Mason EJ, Obusez E, Poturalski M, Rammo R, Nagel SJ, Jones SE. *Clinical Intervention Using Focused Ultrasound (FUS) Stimulation of the Brain in Diverse Neurological Disorders*. Frontiers in Neurol. 2022; 13, 880814.

Blanco, C. *Historia de la neurociencia. El conocimiento del cerebro y la mente desde una perspectiva interdisciplinar*. Editorial Biblioteca Nueva, S.L. (Colección Fronteras), 2014.

Clemenson GD, Stark CEL. *Virtual Environmental Enrichment through Video Games Improves Hippocampal-Associated Memory*. J. Neurosci. 2015; 35(49):16116 –16125.

Cometa A, Falasconi A, Biasizzo M, Carpaneto J, Horn A, Mazzoni A, Micera S. *Clinical neuroscience and neurotechnology: An amazing symbiosis*. iScience 2022; 25:105124.

Coughlan G, Coutrot A, Khondoker M, Minihane AM, Spiers H, Hornberger M. *Toward personalized cognitive diagnostics of at-genetic-risk Alzheimer's disease*. Proc Natl Acad Sci U S A 2019; 116(19):9285–9292.

Cudeiro D, Bolkart T, Laidlaw C, Ranjan A, Black M. Capture, Learning, and Synthesis of 3D Speaking Styles. *Proceedings IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)* 2019; 0101-10111.

de Castro F, López-Mascaraque L, de Carlos JA. Cajal: *Lessons on brain development*. Brain Res. Rev. 2007; 55:481–489.

de Castro F. Cajal and the Spanish Neurological School: *Neuroscience Would Have Been a Different Story Without Them*. Front. Cell. Neurosci. 2019; 13:187.

de Castro F. *El Arte que alumbró la moderna neurociencia: El dibujo científico de Cajal y sus discípulos*. Kranion 2021;16:146-58

DeFelipe J. *Cajal y sus dibujos: ciencia y arte*. Boletín SEBBM 2006; 148:16-33.

Devanand DP, Goldberg TE, Qian M, Rushia SN, Sneed JR, Andrews HF, Nino I, Phillips J, Pence ST, Linares AR, Hellegers CA, Michael AM, Kerner NA, Petrella JR, Doraiswamy PM. *Computerized Games versus Crosswords Training in Mild Cognitive Impairment*. NEJM Evid 2022; 1 (12).

Duque- Parra JE. *Elementos neuroanatómicos y neurológicos asociados con el cerebro a través del tiempo*. Rev. Neurol. 2002; 34: 282-6.

Dubinsky JM, Guzey SS, Schwartz MS, Roehrig G, MacNabb C, Schmied A, Hinesley V, Hoelscher M, Michlin M, Schmitt L, Ellingson C, Chang Z, Cooper JL. *Contributions of Neuroscience Knowledge to Teachers and Their Practice*. The Neuroscientist 2019; 25(5):394-407.

Evasary H, Maulidia Y, Crisantium Chaerunnisa PG. *The Effectiveness of Labyrinth Game in Improving Interpersonal Intelligence of Children with Autism*. Advances in Social Science, Education and Humanities Research 2017; 128:199-202.

Ferrazzoli D , Ortelli P, Iansek R, Volpe D. *Rehabilitation in movement disorders: From basic mechanisms to clinical strategies*. Handbook Clin. Neurol. 2022; 184:341-355.

Fuster JM. *Cajal y la neurociencia cognitiva cien años más tarde*. Quark 2007; 39-40: 59-65.

Hendler T, Bleich-Cohen M, Sharon H. *Neurofunctional view of psychiatry: clinical brain imaging revisited*. *Current Opinion in Psychiatry* 2009; 22:300–305.

Khan F, Amatya B, Galea MP, Gonzenbach R, Kesselring J. *Neurorehabilitation: applied neuroplasticity*. *J Neurol*. 2017; 264(3):603-615.

Marotta N, Calafiore D, Curci C, Lippi L, Ammendolia V, Ferraro F, Invernizzi M, de Sire A. *Integrating virtual reality and exergaming in cognitive rehabilitation of patients with parkinson disease: a systematic review of randomized controlled trials*. *European Journal of Physical and Rehabilitation Medicine* 2022; 58(6):818-26.

Morris RGM, Oertel W, Gaebel W, Goodwin GM, Little A, Montellano P, Westphal M, Nutt DJ, Di Luca M. *Consensus Statement on European Brain Research: the need to expand brain research in Europe*, 2015. *European J. Neurosci*. 2016; 44: 1919–1926.

Masseti T, Dias da Silva T, Brusque Crocetta T, Regiani Guarnieri R, Leal de Freitas B, Bianchi Lopes P, Watson S, Tonks J, Bandeira de Mello Monteiro C. *The Clinical Utility of Virtual Reality in Neurorehabilitation: A Systematic Review*. *Journal of Central Nervous System Disease* 2018; 10: 1–18.

Nef T, Chesham A, Schütz N, Botros AA, Vanbellingen T, Burgunder J-M, Müllner J, Müri RM and Urwyler P. *Development and Evaluation of Maze-Like Puzzle Games to Assess Cognitive and Motor Function in Aging and Neurodegenerative Diseases*. *Front. Aging Neurosci*. 2020; 12:87.

Neumann W-J, Horn A, Kühn AA. *Insights and opportunities for deep brain stimulation as a brain circuit intervention*. *Trends in Neurosci*. 2023; 46(6): 472-487.

Nobre de Paula J, Bandeira de Mello Monteiro C, Dias da Silva T, Miliani Capelini C, Del Cielo de Menezes L, Massetti T, Tonks J, Watson S, Nicolai Ré AH. *Motor performance of individuals with cerebral palsy in a virtual game*

using a mobile phone. Disability and rehabilitation. Assistive technology 2017; 13(6):1-5.

Nombela C, Fernández-Egea E, Giné E, Worbe Y, del Río-Hortega Bereciartu J and de Castro F. *Women Neuroscientist Disciples of Pío del Río-Hortega: the Cajal School Spreads in Europe and South America.* Front. Neuroanat. 2021; 15:666938.

Petrella JR, Michael AM, Qian M, Nwosu A, Sneed, Goldberg TE, Devanand DP, Doraiswamy PM. *Impact of Computerized Cognitive Training on Default Mode Network Connectivity in Subjects at Risk for Alzheimer's Disease: A 78-week Randomized Controlled Trial.* J. Alzheimers Dis. 2023; 91(1):483-494.

Ross D, Travis MJ, Arbuckle MR. *The Future of Psychiatry as Clinical Neuroscience Why Not Now?* JAMA Psychiatry 2015; 72(5):413-414.

Rossi S and members of the Consensus Statement from the IFCN Workshop on “Present, Future of TMS: Safety, Ethical Guidelines”, Siena, October 17-20, 2018, updating through April 2020. *Safety and recommendations for TMS use in healthy subjects and patient populations, with updates on training, ethical and regulatory issues: Expert Guidelines.* Clin Neurophysiol. 2021; 132(1): 269–306.

Shaughnessy N. *Learning with labyrinths: Neurodivergent journeying towards new concepts of care and creative pedagogy through participatory community autism research.* Cristal 2022; 10 (Special Issue): 127-150.

Sheth SA, Mayberg HS. *Deep Brain Stimulation for Obsessive-Compulsive Disorder and Depression.* Annu Rev Neurosci. 2023. doi: 10.1146/annurev-neuro-110122-110434. Epub ahead of print. PMID: 37018916.

Swanson LW and Lichtman JW. *From Cajal to Connectome and Beyond* Annu. Rev. Neurosci. 2016; 39:197–216.

Travis MJ. *Neuroscience and the Future of Psychiatry.* Focus 2019; 17:30–31.

Trist DG, Cohen A, Bye A. *Clinical pharmacology in neuroscience drug discovery: quo vadis?* Current Opinion in Pharmacol. 2014; 14:50–53.

Wais PE, Arioli M, Anguera-Singla R, Gazzaley A. *Virtual reality video game improves high-fidelity memory in older adults*. Scientific Reports 2021; 11:2552.

Waxman S. *From Neuroscience To Neurology Neuroscience, Molecular Medicine, and the Therapeutic Transformation of Neurology*. Academic Press, 2005.

Yan K, Li T, Lobo Marques JA, Gao J, Fong SJ. *A review on multimodal machine learning in medical diagnostics*. Mathematical Biosciences and Engineering 2023; 20(5): 8708–8726.

Yeung AWK, Tzvetkov NT, Atanasov AG. *When Neuroscience Meets Pharmacology: A Neuropharmacology Literature Analysis*. Front. Neurosci. 2018; 12:852.

<https://www.eurekalert.org/news-releases/757471>

<https://www.nobelprize.org/prizes/medicine/2014/summary/>

<https://www.relax4life.com/labyrinth-articles/>

<https://scopepsych.com.au/adhd/adhd-treatment-the-effectiveness-of-finger-labyrinths/>

<https://www.worldhistory.org/Labyrinth/>

Los laberintos del cerebro
LA EXPOSICIÓN

Miguel Barral Precedo
Coordinador de la exposición

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 que acabaría venciendo Teseo gracias a la ayuda de Ariadna, quien le proporcionaría el hilo para escapar 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 humanos. 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 de la investigación neurocientífica, el que pretende explorar este catálogo –en paralelo a la exposición que recoge–. Todo ello de un modo práctico y lúdico, con laberintos que conviertan al lector en sujeto de estudio y le permitan comprobar en primera persona las explicaciones y elementos de información que se presentan.

JUGANDO A ESTIMULAR LA MENTE

Los pasatiempos de laberintos se popularizaron a principios del siglo XX convirtiéndose en un clásico entretenimiento desde ese momento y a finales de la centuria vivieron un espectacular auge con la llegada de los juegos de rol y los videojuegos en los que los laberintos se convertían en elemento fundamental de la acción.

Al respecto, numerosos estudios científicos avalan que los juegos de laberintos aumentan la estimulación cognitiva, la psicomotricidad, el pensamiento abstracto y la percepción espacial en todas las edades.

La primera revolución llegó en los 70 del pasado siglo con los juegos de mesa-juegos de rol de exploración de mazmorras o *dungeon crawl*. Los más populares fueron *Dungeons & Dragons*¹ de 1974 y *HeroQuest*², a partir de 1989. La siguiente revolución llegó entre los 80 y finales de los 90 con los videojuegos laberínticos bidimensionales. *Pac-Man*³ o *Comecocos* fue el *arcade* más exitoso de todos los tiempos. *Snake*⁴ se popularizó al introducirse pregrabado en algunos móviles. *Wolfenstein 3D*⁵, *Doom*⁶ y *Quake*⁷ introdujeron los laberintos tridimensionales para PC-consola y popularizaron las partidas multijugador donde

1 Diseño: Gary Gygax y Dave Arneson. Compañía: Tactical Studies Rules (TRS).

2 Diseño: Stephen Baker. Compañía: Milton Bradley y Games Workshop.

3 Diseño: Tōru Iwatani. Compañía: Namco y Midway Games.

4 Diseño: Taneli Armanto. Compañía: Nokia .

5 Diseño: Alfonso John Romero y Tom Hall. Compañía: id Software.

6 Diseño: Alfonso John Romero, Tom Hall y John Carmack. Compañía: id Software.

7 Diseño: Alfonso John Romero y John Carmack. Compañía: id Software.

se estimulaba la capacidad de orientación en entornos laberínticos.

El lado negativo es la violencia que caracteriza a algunos de ellos, que puede llegar a potenciar conductas agresivas en algunos adolescentes con problemas de base. El beneficio se produce siempre que no sea la única vía de expansión lúdica, se compagine con relaciones sociales reales, exista un control de los tiempos de exposición, se respete la edad recomendada y no exista algún tipo de patología o problema mental previo.

¿CÓMO NOS ENFRENTAMOS A UN LABERINTO?

Nuestra habilidad para resolver y/o navegar por un laberinto se basa en nuestra capacidad para percibir las señales del entorno a través de los sentidos –sobre todo, la vista– y en la capacidad de nuestro cerebro para procesar, almacenar esta información e integrarla con otras ya registradas en nuestro “disco duro” cerebral.

En síntesis, gracias a la combinación de información sensorial –principalmente visual– y 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.

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. Y también por eso nuestros ancestros preferían desplazarse y buscar alimento durante el día y resguardarse al caer la oscuridad.

PROCESO (DEL LAT. *PROCESSUS*):

1. M. ACCIÓN DE IR HACIA DELANTE

Ya hemos visto que a la hora de orientarnos en un laberinto, los sentidos y otros sistemas de procesamiento sensorial como la memoria y la lógica actúan conjuntamente. Pero, en ocasiones, en función de las circunstancias particulares, pueden prevalecer unos u otros⁸. Un ejemplo muy evidente son los laberintos lógicos.

Inventados por Robert Abbot 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. 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. Y por ello nos apoyamos más en nuestra capacidad de procesamiento.

En otras ocasiones, también podemos primar voluntariamente una capacidad –visión o procesamiento cerebral– sobre la otra. De hecho, lo hacemos sin ser conscientes de ello ante la necesidad de dedicar una de ellas –vista o memoria– a alguna tarea más urgente o importante. Por ejemplo, en nuestro remoto pasado, cuando se modeló nuestra habilidad para enfrentarnos a un entorno laberíntico: identificar posibles señales de presas o depredadores o localizar fuentes de alimento. O, en la actualidad, atender a una conversación telefónica, *guasapear* con alguien, recordar una información importante, etc.

⁸ Zhao Min, Marquez, Andre G. 2013. *Understanding humans strategies in maze solving*. arXiv:1307.5713 (2013) (<https://doi.org/10.48550/arXiv.1307.5713>)

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 mantiene (parcialmente) ocupada la memoria.

EL NAVEGADOR INTERNO O “GPS” DEL CEREBRO

Una vez que ya tenemos claro que nuestra capacidad para navegar por un laberinto depende de nuestros sentidos (fundamentalmente, la vista) y la capacidad computacional de nuestro cerebro, llega el momento de resolver cómo nos orientamos en un entorno laberíntico. La respuesta es que lo hacemos porque nuestro cerebro cuenta con un sofisticado navegador espacial: el sistema de posicionamiento interno o “GPS” del cerebro.

VIVIMOS RODEADOS DE LABERINTOS

¿Por qué es tan importante este sistema de posicionamiento interno? Porque 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 echando mano de nuestro navegador interno, nuestro “GPS” cerebral (y, a veces, también los de nuestro vehículo o nuestro teléfono). 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 casa⁹. Vivimos rodeados de laberintos.

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.

⁹ Bongiorno, C., Zhou, Y., Kryven, M. et al. *Vector-based pedestrian navigation in cities*. *Nat Comput Sci* 1, 678–685 (2021). <https://doi.org/10.1038/s43588-021-00130-y>

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 permite 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 los ubica en una de esas casillas.

De este modo y con estos hitos como referencias, podemos estimar en qué dirección nos movemos y 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.

Todas estas estimaciones las realiza el cerebro gracias a diferentes tipos de neuronas especializadas: así, hay neuronas que se activan en función de la dirección a la que apunta nuestra cabeza, hacia dónde miramos, y, de este modo, el cerebro sabe en qué sentido nos desplazamos; en tanto que otro tipo de neuronas estiman el ritmo o velocidad a la que nos movemos y, a partir de ello, la distancia recorrida.

TENEMOS CEREBRO DE TURISTAS... Y TAMBIÉN MEMORIA DE TURISTAS

Lo cierto es que nuestro cerebro emplea un sistema de navegación que funciona de forma similar a los planos de las guías de viajes¹⁰. Porque cuando circulamos por un entorno ya conocido, nuestro cerebro accede a su archivo de mapas mentales para recuperar ese plano en concreto con las posiciones exactas de los hitos destacados en ese escenario y, a partir de ellos, reconocer dónde estamos y cómo tenemos que movernos para llegar al destino deseado. La diferencia es que ya no vamos identificando y fijando la posición de los hitos particulares conforme los descubrimos, sino que ya partimos con esa información en mente, lo que nos permite avanzar más rápido y con mayor seguridad, ya que realizamos una estimación más precisa de nuestra posición en cada momento.

Esta aparente seguridad es también la que, a veces, nos juega una mala pasada cuando nos cambian las piezas del escenario inesperadamente¹¹. Por ejemplo, y de vuelta a nuestro caso práctico del supermercado, cuando en el centro al que acudimos normalmente cambian la ubicación de los diferentes tipos de productos o la distribución en los estantes de un día para otro¹².

10 Moser, May-Britt; Moser, Edvard I. *The Brain's GPS Tells You Where You Are and Where You've Come from*. *Scientific American*, (January, 2016).

11 Shikachi, Y., Ishii, S. *Decoding the view expectation during learned maze navigation from human fronto-parietal network*. *Sci Rep* 5, 17648 (2016). <https://doi.org/10.1038/srep17648>.

12 Zheng, L., Gao, Z., McAvan, A.S. et al. *Partially overlapping spatial environments trigger reinstatement in hippocampus and schema representations in prefrontal cortex*. *Nat Commun* 12, 6231 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41467-021-26560-w>

UN DESCUBRIMIENTO QUE BIEN MERECE UN PREMIO... NOBEL (O INCLUSO DOS)

El descubrimiento de cómo funciona este “GPS” interno fue reconocido con el premio Nobel de Medicina y Fisiología de 2014 a sus descubridores: John O’keefe, May Britt Moser y Edvard I. Moser¹³.

Un hito y una distinción que encuentran su origen en otro descubrimiento: el de las neuronas por parte de Santiago Ramón y Cajal merced a una técnica desarrollada por Camilo Golgi y que asimismo mereció el premio Nobel de Medicina y Fisiología de 1906¹⁴.

¹³ NobelPrice.org. The 2014 Nobel Price in Physiology or Medicine.

¹⁴ NobelPrice.org. The 1906 Nobel Price in Physiology or Medicine.

LOS LABERINTOS DE LA NEUROCIENCIA

¿Por qué 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 aplicada¹⁵, no sólo en la investigación del cerebro sino también para diagnosticar desórdenes neurológicos y como terapia para tratarlos¹⁶.

15 Goodwin, C. J. *A-mazing research. Monitor on Psychology*, 43(2). February 1, 2012. <https://www.apa.org/monitor/2012/02/research>

16 Mennenga SE, Baxter LC, Grunfeld IS, Brewer GA, Aiken LS, Engler-Chiurazzi EB, Camp BW, Acosta JI, Braden BB, Schaefer KR, Gerson JE, Lavery CN, Tsang CW, Hewitt LT, Kingston ML, Koebele SV, Patten KJ, Ball BH, McBeath MK, Bimonte-Nelson HA. *Navigating to new frontiers in behavioral neuroscience: traditional neuropsychological tests predict human performance on a rodent-inspired radial-arm maze*. *Front Behav Neurosci*. (2014) doi: 10.3389/fnbeh.2014.00294.

¡SIGA A ESE TAXI!

En este sentido, uno de los grandes avances se produjo en 2011 cuando un estudio¹⁷ demostró que los taxistas londinenses tenían más desarrollada la región del cerebro en la que se almacena la información y los recuerdos de los que depende nuestro sistema de navegación. Y también que este aumento de la capacidad cerebral era consecuencia de la práctica. Los taxistas más experimentados presentaban una mayor capacidad. Es decir, 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.

LABERINTOS MEMORABLES

Otro reciente estudio¹⁸ efectuado en 2021 ha confirmado que navegar por entornos laberínticos virtuales mejora la memoria a largo plazo de los individuos de edad avanzada. Esto abre la puerta a su futura aplicación para paliar, ralentizar y combatir la pérdida de memoria asociada a la edad y como posible tratamiento para ayudar en problemas neurodegenerativos como el Alzheimer¹⁹. Para alcanzar esta

17 Maguire E., Gadian D., Johnsrude I., Frith C. et al. *Navigation-related structural change in the hippocampi of taxi drivers*. PNAS, 97 (8) 4398-4403 (2000) <https://doi.org/10.1073/pnas.070039597>

18 Wais, P.E., Arioli, M., Anguera-Singla, R. et al. *Virtual reality video game improves high-fidelity memory in older adults*. *Sci Rep* 11, 2552 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-82109-3>

19 Rubtcova, M. y Pavenkov, O. (2017) *International Conference on Inclusive Education-2017*, University of South Australia School of Education, October 27th-29th 2017

conclusión, los autores de la investigación desarrollaron el juego de realidad virtual *Labyrinth* que sumerge al individuo en realistas y novedosos entornos y escenarios.

SEA HERO QUEST: UNA APLICACIÓN INFORMÁTICA RECREATIVA PARA DIAGNOSTICAR EL ALZHEIMER

La dificultad para la navegación espacial es uno de los síntomas comunes de las primeras fases del Alzheimer y de otras demencias. Entender cómo se manifiesta permitiría diagnosticar estas enfermedades en sus fases más tempranas²⁰. *Sea Hero Quest* es un juego de orientación diseñado como aplicación para el móvil por neurocientíficos de la Universidad de East Anglia (Reino Unido) en colaboración con el University College London, el CNRS y otras prestigiosas universidades. El objetivo era recopilar un ingente volumen de datos de un gran número de personas de todas las edades, etnias, géneros, procedencias, etc. Y a partir de estos datos, determinar cómo evoluciona con el paso del tiempo nuestra capacidad de navegación y cuál es el declive normal propio de la edad. Lo que a su vez permitirá un diagnóstico más temprano de las enfermedades cuando las señales de pérdida del paciente superen (o se manifiesten de otro modo) a las normales para su rango de edad.

20 Wood, H. *A virtual Morris maze to assess cognitive impairment in Alzheimer disease*. Nat Rev Neurol 12, 126 (2016). <https://doi.org/10.1038/nrneurol.2016.16>

¿ERES DE PUEBLO O DE CIUDAD?

Una de las primeras evidencias alcanzadas a partir de los datos recopilados por el juego gracias a la participación ciudadana –anunciada en marzo de 2022– es que las personas que viven en entornos urbanos tienen una peor capacidad de orientación (parecen tener un sistema de navegación interno menos efectivo) que las personas que viven en entornos rurales²¹. Tanto peor cuanto más cuadrículado o planificado (calles anchas y rectas) es el diseño de las ciudades o barrios en los que viven. En resumen, de la configuración más o menos laberíntica de su entorno.

¿QUÉ ES LA CONFIGURACIÓN LABERÍNTICA O “LABERINTICIDAD”?

En los años 80 del pasado siglo, el experto en diseño arquitectónico Bill Hillier definió el término configuración laberíntica o “laberinticidad” de un lugar (barrio, ciudad, etc.) atendiendo a cuán fácil o asequible era circular a través de él para alcanzar el destino deseado²². Introdujo una escala de 0 a 10 de dificultad creciente y señaló como ejemplo de máxima “laberinticidad” Barbican Estate (Londres),

21 Coutrot, A., Manley, E., Goodroe, S. *et al.* *Entropy of city street networks linked to future spatial navigation ability*. *Nature* 604, 104–110 (2022). <https://doi.org/10.1038/s41586-022-04486-7>

22 Yamu, Claudia, Akkelies van Nes, and Chiara Garau. *Bill Hillier’s Legacy: Space Syntax—A Synopsis of Basic Concepts, Measures, and Empirical Application*. *Sustainability* 13, no. 6: 3394. (2021). <https://doi.org/10.3390/su13063394>

un complejo de edificios construido en varios niveles y que cuenta con numerosas entradas y corredores, lo que para muchos lo convierte en una especie de laberinto de hormigón. Para ayudar a los visitantes a llegar a su destino, los recorridos están marcados con líneas de colores en el suelo y carteles.

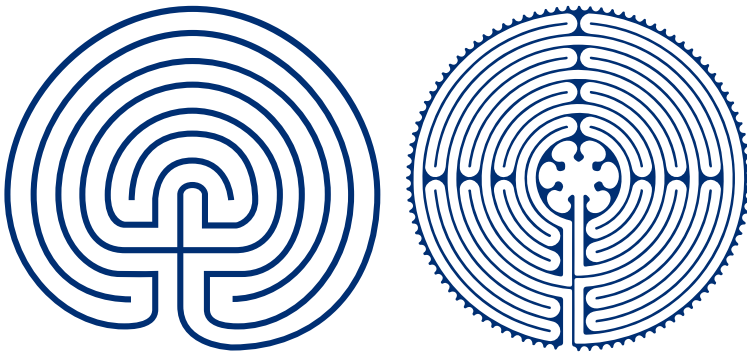
EL COVID PUEDE AFECTAR A NUESTRO NAVEGADOR ESPACIAL

El COVID persistente puede causar anomalías neurológicas como la denominada niebla cerebral caracterizada por problemas de memoria, falta de claridad mental e incapacidad para concentrarse. Un reciente estudio²³ publicado en marzo de 2023 vincula haber padecido COVID persistente con dificultades en la capacidad de navegación espacial y con la aparición de prosopagnosia o ceguera facial, un raro trastorno del sistema visual que impide el reconocimiento de las caras familiares y que ha saltado a los medios de comunicación porque el famoso actor Brad Pitt ha reconocido padecerla. Las dificultades de localización afectan a la capacidad para situar un lugar conocido con respecto a tu ubicación actual. Por ejemplo, las distintas secciones de nuestro supermercado (frutería, carnicería, congelados, etc.) o la plaza del aparcamiento donde se ha estacionado el coche.

23 Kieseler M-L., Duchaine B. *Persistent prosopagnosia following COVID-19*. Cortex, Volume 162, Pages 56-64, (May, 2023) (<https://doi.org/10.1016/j.cortex.2023.01.012>).

DESCONEXIÓN MENTAL

Finalmente, otra de las recientes aplicaciones terapéuticas de los laberintos nos devuelve a su “origen”. Desde la Antigüedad y durante la Edad Media, los laberintos eran entendidos, sobre todo, como un escenario o una herramienta que invitaba a la meditación (y la espiritualidad) al recorrerlos. En la actualidad, se ha recuperado este uso y se recurre al empleo de laberintos para tratar la ansiedad y el estrés. En concreto, se emplean pequeños diseños de pared que hay que recorrer con el dedo a fin de alcanzar un estado de relajación mental. La plena concentración en esta tarea ayuda a liberar la mente de otras preocupaciones, urgencias y angustias²⁴.



²⁴ Lin et al. *On Variation in Mindfulness Training: A Multimodal Study of Brief Open Monitoring Meditation on Error Monitoring*. *Brain Sciences* 9/9:226 (2019) <https://doi.org/10.3390/brainsci9090226>

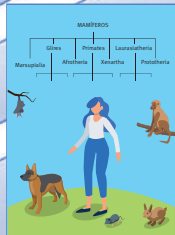
UN COMIC PARA PROFUNDIZAR EN EL FUNCIONAMIENTO DEL NAVEGADOR INTERNO DEL CEREBRO

PARECE QUE ESTAMOS
DENTRO DE UN LABERINTO.
¿NOS ACOMPAÑAS?

SIGUE LEYENDO SI QUIERES
SABER MÁS SOBRE CÓMO
FUNCIONA EL NAVEGADOR
INTERNO DEL CEREBRO.

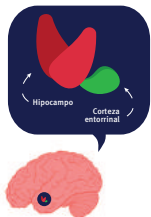


LA CAPACIDAD PARA ORIENTARSE EN LA NATURALEZA ES FUNDAMENTAL PARA LOS SERES VIVOS A LA HORA DE ENCONTRAR REFUGIO, ALIMENTO...

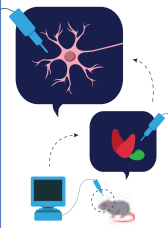


DE HECHO, SE HA DESCUBIERTO UN SISTEMA DE NAVEGACIÓN COMÚN EN EL CEREBRO DE LOS MAMÍFEROS: MURCIÉLAGOS, ROEDORES, MONOS, PRIMATES, Y EL SER HUMANO.

UN SISTEMA DE POSICIONAMIENTO INTERNO QUE SE LOCALIZA EN DOS ÁREAS CONCRETAS DEL CEREBRO: EL HIPOCAMPO Y LA CORTEZA ENTORRINAL, QUE ESTÁN ÍNTIMAMENTE CONECTADAS ENTRE SÍ.



LOS CIENTÍFICOS HAN DESCUBIERTO CÓMO Y EN BASE A QUÉ FUNCIONA ESTE SISTEMA DE POSICIONAMIENTO INTERNO O "GPS DEL CEREBRO" ESTUDIANDO LA ACTIVIDAD NEURONAL DE ESTAS ÁREAS EN EL CEREBRO DE ROEDORES.



PRIMERO SE DESCUBRIÓ EN EL HIPOCAMPO UN TIPO PARTICULAR DE NEURONAS -A LAS QUE DENOMINARON "NEURONAS DE LUGAR"-.



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 ALMACENAN EN LA MEMORIA Y PASAN A FORMAR PARTE DE NUESTRO ARCHIVO DE MAPAS.



DE ESTE MODO CUANDO VISITAMOS OTRA VEZ UN 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.

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.

ADÉMÁS, 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 VISITAMOS MÁS SENCILLO NOS RESULTA ORIENTARNOS EN ÉL, YA QUE DISPONEMOS DE MÁS REFERENCIAS.

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 MARGO 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 CALLEJEROS.

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 CÚÁL ENTRAMOS.

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 QUE SÍ HACEN LAS "CÉLULAS CELDA" ES AJUSTAR EL TAMAÑO DE LAS CELDAS EN FUNCIÓN DE LA EXTENSIÓN DEL ESCENARIO -UNA INFORMACIÓN QUE RECIBEN DE LA VISTA- DEL MISMO MODO QUE EN LOS CALLEJEROS EL TAMAÑO DE LAS CELDAS (SU ESCALA) VARÍA ATENDIENDO A LA EXTENSIÓN DE NÚCLEO URBANO ENGBLOBADO.

ESTE SISTEMA DE REFERENCIA PERMITE AL CEREBRO SEGUIR NUESTRO MOVIMIENTO EN EL ESPACIO Y TRAZAR LA RUTA O CAMINO QUE RECORREMOS.

GRACIAS A ESTA CAPACIDAD PARA DIMENSIONAR LAS CELDAS, ÉSTAS SON FUNCIONALES EN CUALQUIER ESCENARIO: YA SEA UNA HABITACIÓN O UN PARQUE EL CEREBRO PUEDE SEGUIR NUESTRO MOVIMIENTO POR LA ACTIVACIÓN SECUENCIAL DE LAS DISTINTAS CELDAS.

PERO SI ESTAS "NEURONAS CELDA" NO RESPONDEN A ESTÍMULOS EXTERNOS CONCRETOS, SINO QUE SE ACTIVAN REGULARMENTE, ¿CÓMO SABEN CUÁNDO DEBEN ACTIVARSE?

LA RESPUESTA SE ENCUENTRA EN OTROS DOS TIPOS DE NEURONAS PRESENTES ASIMISMO EN LA CORTEZA ENTORRINAL.



POR UN LADO, LAS "NEURONAS DE DIRECCIÓN DE LA CABEZA" 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 HEAMOS RECORRIDO.



ESTO ES FÁCIL DE ENTENDER YA QUE CUALQUIERA DE NOSOTROS SABE SI AVANZA MÁS RÁPIDO O MÁS LENTO INCLUSO CON LOS OJOS CERRADOS SIN NECESIDAD DE INFORMACIÓN EXTERNA.

Y TAMBIÉN SABEMOS EN QUÉ DIRECCIÓN APUNTA NUESTRA CABEZA AUNQUE TENGAMOS LOS OJOS CERRADOS. 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 QUE SE ACTIVAN CUANDO NOS TOPAMOS CON UN OBSTÁCULO, POR EJEMPLO -UNA PARED EN UN LABERINTO- QUE NOS IMPIDE SEGUIR AVANZANDO Y HAY QUE CAMBIAR DE DIRECCIÓN.

Y POSIBLEMENTE AÚN HAYA MÁS TIPOS DE NEURONAS CON FUNCIONES ESPECÍFICAS QUE TODAVÍA NO HAN SIDO IDENTIFICADAS.

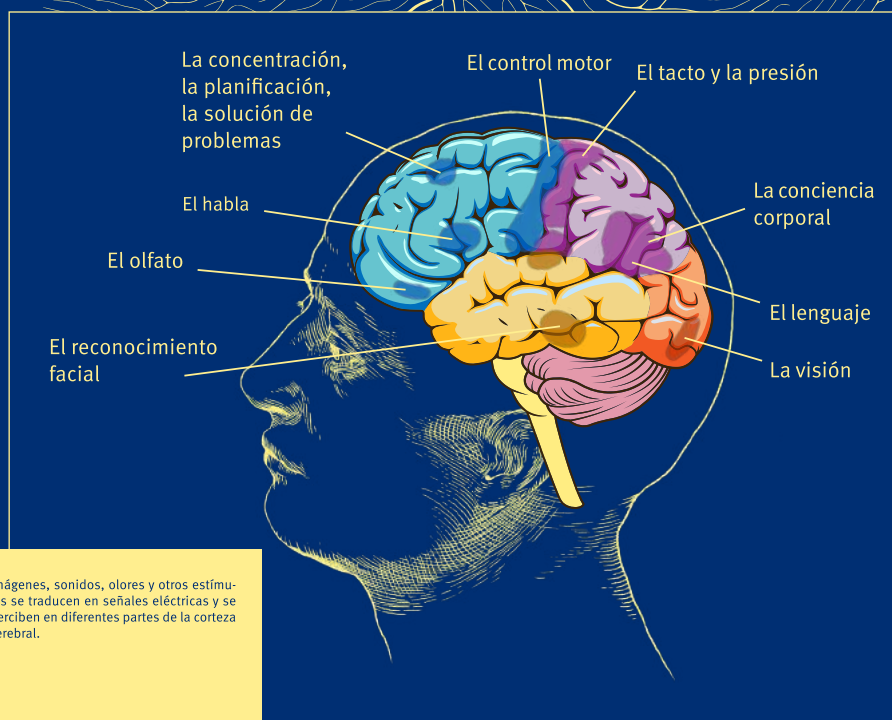


TODAS ESTAS NEURONAS ESTÁN CONECTADAS ENTRE SÍ. DE ESTE MODO EL SISTEMA DE POSICIONAMIENTO DEL CEREBRO, NUESTRO "GPS ÍTERNO", INTEGRA TODA ESTA INFORMACIÓN Y LA PROCESA CONJUNTAMENTE...

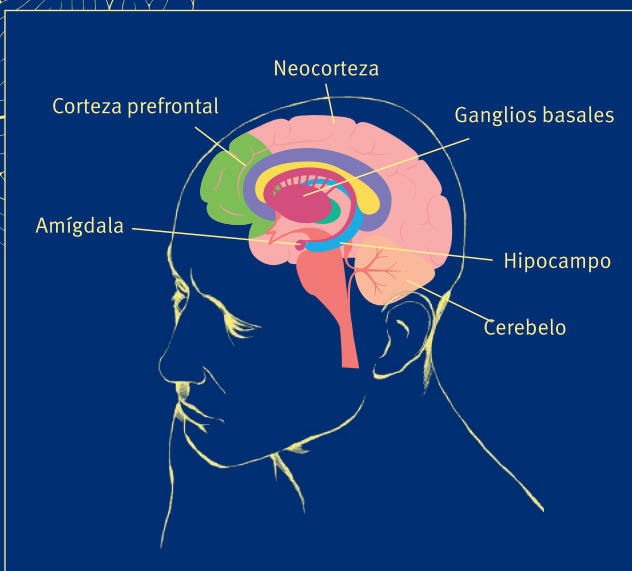
...Y AL HACERLO NOS PERMITE ORIENTARNOS EFICAZMENTE POR EL ENTORNO POR EL QUE NOS DESPLAZAMOS, YA SEA ÉSTE CONOCIDO O DESCONOCIDO, DESPEJADO O LABERÍNTICO.

Los laberintos del cerebro
EN PÓSTERES

PON SENTIDO A TUS RECUERDOS

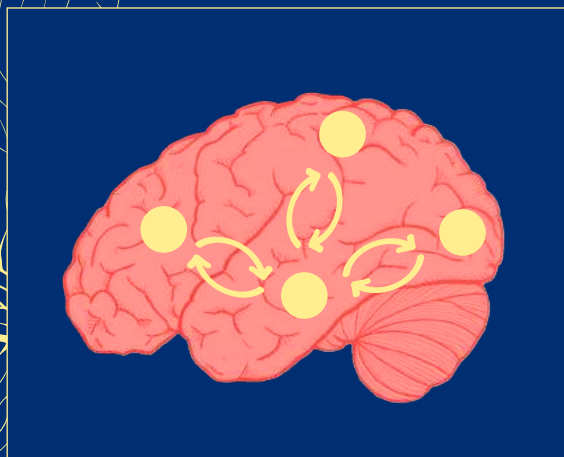


Imágenes, sonidos, olores y otros estímulos se traducen en señales eléctricas y se perciben en diferentes partes de la corteza cerebral.



La información percibida se codifica para que se formen los distintos tipos de memorias: datos, eventos biográficos, emociones, automatismos, como montar en bicicleta, etc. En la figura, se muestran las zonas más relevantes para la codificación y el almacenamiento.

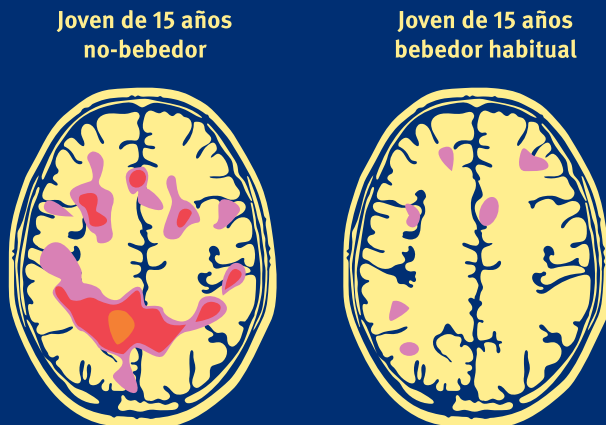
Posteriormente, esas memorias almacenadas pueden ser recuperadas cuando se necesiten. En este proceso es importante la interacción sincronizada entre diferentes zonas, dependiendo de la información de que se trate. Por ejemplo, entre el hipocampo y la corteza cerebral para recuperar datos o eventos biográficos.



SI BEBES, ESTÁS PERDIDO

Ahora que ya sabemos que nos orientamos gracias a la combinación de la información sensorial y la memoria y que nuestra capacidad para orientarnos se ve comprometida cuando alguna de ellas (o ambas) falla, a la vista de esta impactante imagen, es fácil entender por qué es tan habitual desorientarse y no encontrar el camino de vuelta a casa tras una noche de fiesta. Y no es precisamente porque haya poca luz a esas intempestivas horas...

En la imagen, obtenida por PET (Tomografía por Emisión de Positrones), se observa la activación de la corteza cerebral cuando se realiza una tarea que requiere la memoria para repasar un itinerario -por ejemplo, el camino a casa o al trabajo-. La actividad es mucho menor en el sujeto que consume alcohol con asiduidad a pesar de que la prueba se realizó estando sobrio.



Actividad cerebral durante la ejecución de ejercicios de memoria. El individuo bebedor está sobrio durante la prueba²⁵.

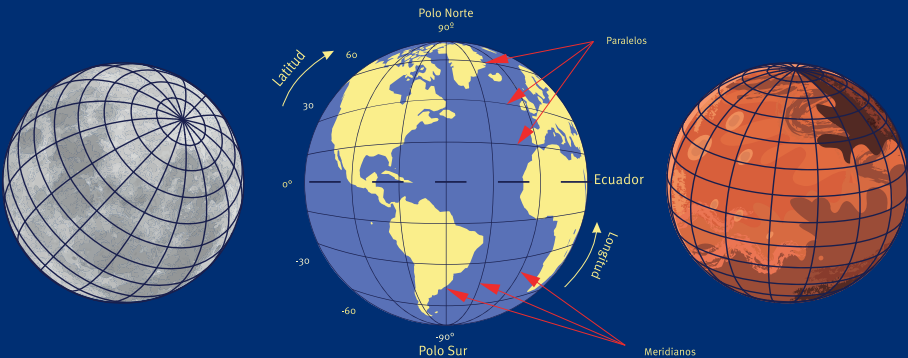
²⁵ Schulte, T., Oberlin, B.G., Kareken, D.A., Marinkovic, K., Müller-Oehring, E.M., Meyerhoff, D.J. and Tapert, S. *How Acute and Chronic Alcohol Consumption Affects Brain Networks: Insights from Multimodal Neuroimaging*. *Alcohol Clin Exp Res*, 36: 2017-2027 (2012). <https://doi.org/10.1111/j.1530-0277.2012.01831.x>

VIVIMOS RODEADOS DE LABERINTOS



UNIVERSAL: QUE ES COMÚN A TODOS, SIN EXCEPCIÓN ALGUNA

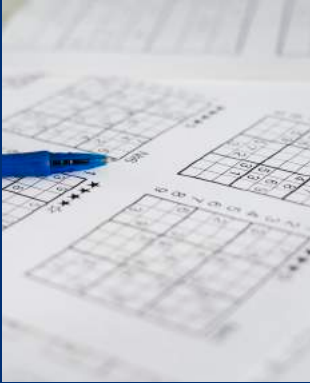
¿Qué significa que el sistema de referencia es universal?
Que es el mismo independientemente del escenario o entorno.



Luna

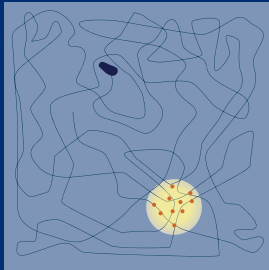
La Tierra

Marte



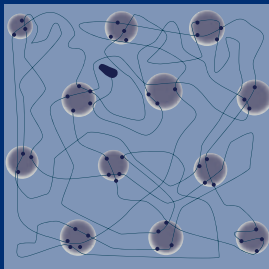
UN DESCUBRIMIENTO QUE BIEN MERECE UN PREMIO... NOBEL

El Premio Nobel en Fisiología o Medicina 2014



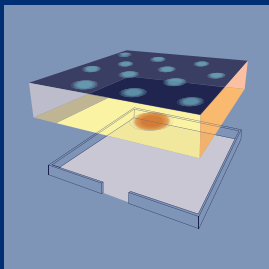
John O'Keefe
Premio compartido: 1/2

John O'Keefe descubrió, en 1971, que ciertas células nerviosas del cerebro se activaban cuando una rata ocupaba un lugar determinado en el entorno. Otras células nerviosas se activaron en otros lugares. Propuso que estas “células de lugar” construyen un mapa interno del entorno. Las “células de lugar” se encuentran en una parte del cerebro llamada hipocampo.



May-Britt Moser
Premio compartido: 1/4

May-Britt y Edvard I. Moser descubrieron en 2005 que otras células nerviosas de una parte cercana del cerebro, la corteza entorrinal, se activaban cuando una rata pasaba por determinados lugares. Juntas, estas ubicaciones formaban una rejilla, en la que cada “célula de la rejilla” reaccionaba según un patrón espacial único. En conjunto, estas cuadrículas forman un sistema de coordenadas que permite la navegación espacial.



Edvard I. Moser
Premio compartido: 1/4

Las células reticulares, junto con otras células del córtex entorrinal que reconocen la dirección de la cabeza del animal y el borde de la habitación, forman redes con las células de lugar del hipocampo. Estos circuitos constituyen un completo sistema de posicionamiento interno, una especie de “GPS”, en el cerebro. El sistema de posicionamiento del cerebro humano parece tener componentes similares a los del cerebro de la rata.

CAJAL: EL “CEREBRO” DE LAS NEURONAS

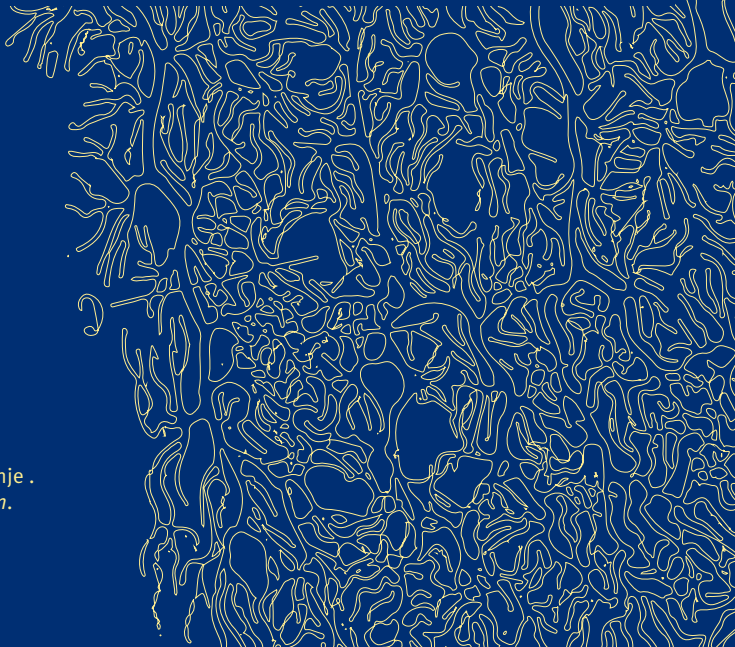
El Premio Nobel en Fisiología o Medicina 1906

El Premio Nobel en Fisiología o Medicina 1906 se otorgó conjuntamente a Camillo Golgi y Santiago Ramón y Cajal “en reconocimiento a su trabajo sobre la estructura del sistema nervioso”.

Nuestro cuerpo está controlado por el sistema nervioso. En 1870, Camillo Golgi descubrió una técnica para teñir y estudiar las células nerviosas. Cajal comenzó a utilizar el método de Golgi en 1887 y abrió una era de descubrimientos extraordinarios. Observó que las neuronas eran células independientes, constituían la unidad estructural y funcional del sistema nervioso y se comunicaban entre sí mediante sinapsis, que permitían la transmisión del impulso nervioso. Partiendo de imágenes fijas obtenidas en su microscopio, Cajal dio un sentido funcional a lo que observaba y predijo cómo fluye la información a través del sistema nervioso, sentando las bases de la moderna neurociencia.



Ilustración de célula de Purkinje .
Portada de *The beautiful brain*.
Abrams Books (2017).



SEA HERO QUEST: UN JUEGO PARA DIAGNOSTICAR EL ALZHEIMER



En la actualidad, más de 55 millones de personas viven en el mundo con algún tipo de demencia.



Las personas con demencia podrían recibir mejor ayuda si los expertos pudieran diagnosticar antes la enfermedad.



Uno de los primeros signos de demencia es que las personas empiezan a perder la capacidad de orientarse.



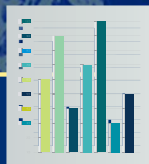
Pero los médicos no tienen forma de saber si la gente se pierde porque tiene demencia o si es por otros motivos.



Para ayudar a los médicos a diagnosticar antes la demencia, necesitábamos crear una referencia mundial de cómo navegan las personas sanas.



2,4 millones de personas en todo el mundo jugaron a un juego de móvil que puede seguir las capacidades de navegación espacial de un individuo.



*Sea Hero Quest*¹ produjo el mayor estudio sobre demencia de la historia.

(1) Desarrollado por la empresa británica Glitchers en 2016 en asociación con Alzheimer's Research UK, el University College London y la Universidad de East Anglia con financiación de la empresa Deutsche Telekom.



Gracias a *Sea Hero Quest* ahora disponemos de una enorme cantidad de datos y podemos crear una referencia mundial para la navegación espacial humana. Los resultados preliminares revelan que:



Nuestras capacidades de navegación espacial empiezan a declinar a partir de la edad adulta temprana; estudios anteriores sugerían que este declive era de esperar a una edad más avanzada.



El lugar donde vives la infancia afecta a tu navegación: los países nórdicos (Finlandia, Suecia, Noruega, Dinamarca) tienen una capacidad de navegación especialmente buena.

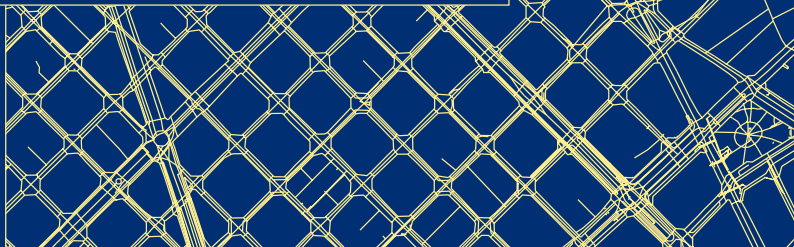
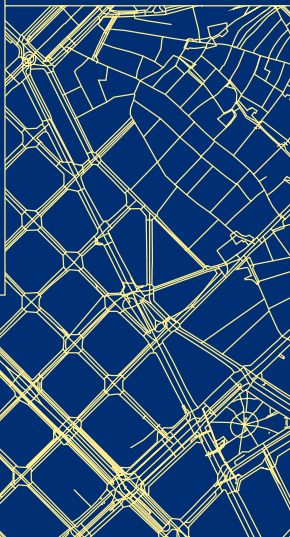


Existen diferencias en las estrategias de navegación espacial entre hombres y mujeres. Sin embargo, en los lugares con más igualdad de género estas diferencias prácticamente desaparecen.



Sea Hero Quest se aplicará ahora en un entorno clínico para ayudar a predecir la aparición temprana de la demencia, así como para influir en el tratamiento de los pacientes ya diagnosticados con la enfermedad.

¿ERES DE PUEBLO O DE CIUDAD?



DENTRO DEL LABERINTO

1. Vista aérea de un barrio urbano ordenado:
el Eixample de Barcelona

2. Vista aérea de un núcleo histórico urbano:
Sibiu, Rumanía

3. Vista aérea de un complejo de edificios
residenciales:
Barbican Estate, City de Londres, Reino
Unido

4. Vista aérea de un pueblo en un entorno
rural:
Carcassonne, Francia





**Juega y compruébalo
en primera persona
INTERACTIVOS**

LABERINTO A OSCURAS

La ausencia (o merma) de referencias visuales condiciona y compromete nuestra capacidad para orientarnos en un laberinto.

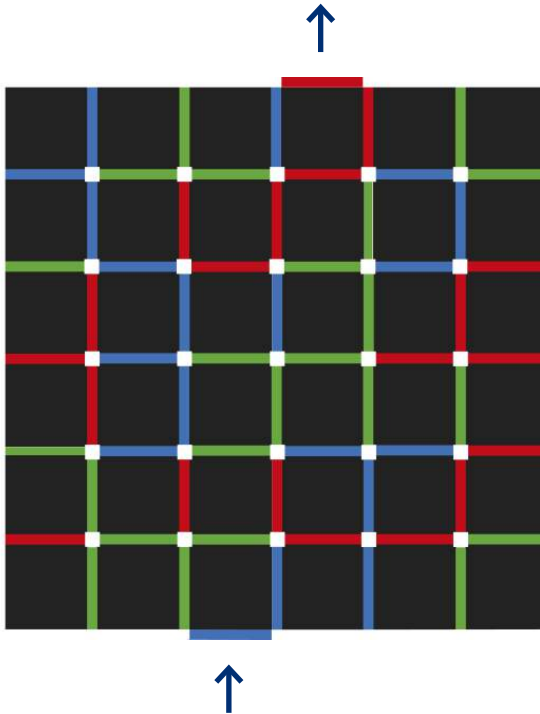
ANTES DE PASAR LA PÁGINA:

Para enfrentarte a este laberinto busca una estancia a oscuras o en penumbra a fin de comprobar como la merma de visión compromete nuestra capacidad para resolver un laberinto.



PROCESO: ACCIÓN DE IR HACIA DELANTE

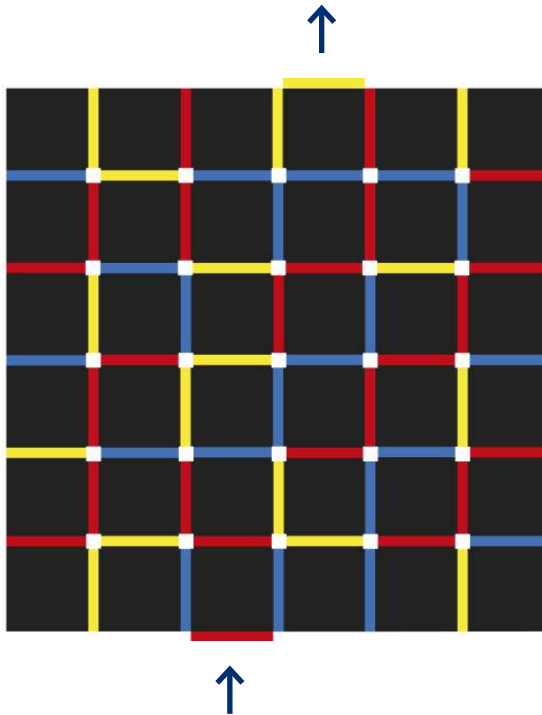
Pon a prueba tu capacidad de procesamiento cerebral con estos laberintos lógicos.



Laberinto 1

REGLA: Da tres pasos sobre el azul, luego cambia a un nuevo color y repite. Debes cambiar de color cada tercer paso. Sigue avanzando (no retrocedas). Si no puedes dar tres pasos completos en una dirección, intenta una dirección diferente. Debes salir en un tercer escalón (rojo)

PROCESO: ACCIÓN DE IR HACIA DELANTE

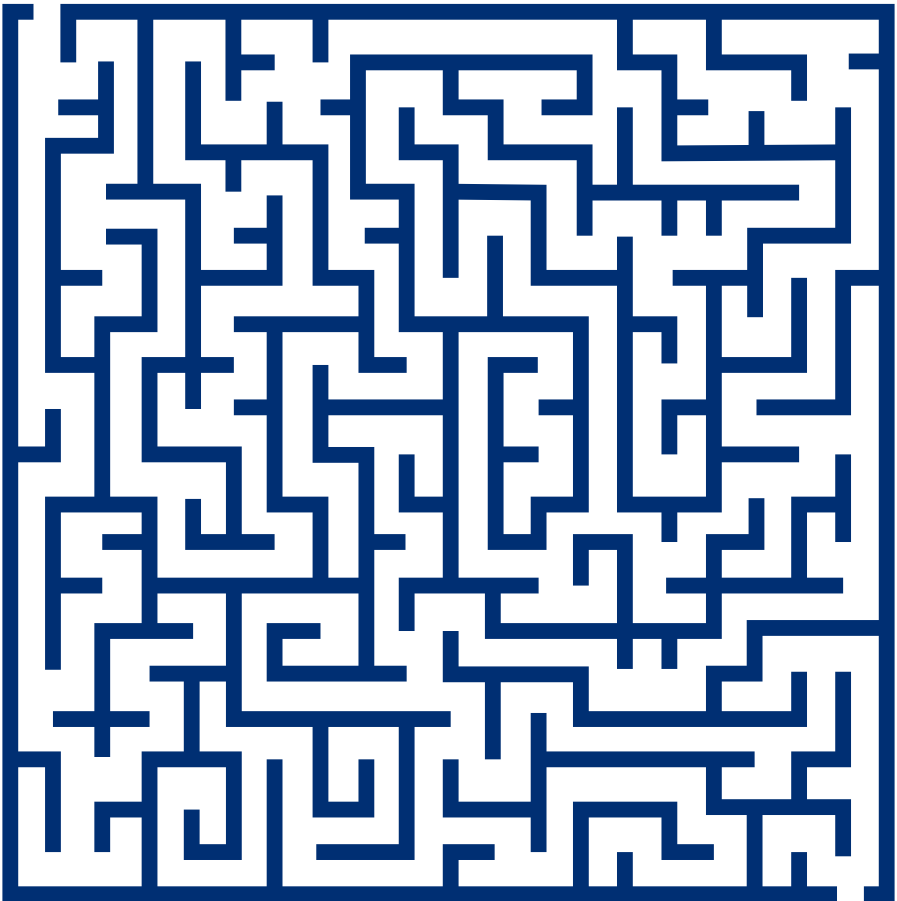


Laberinto 2

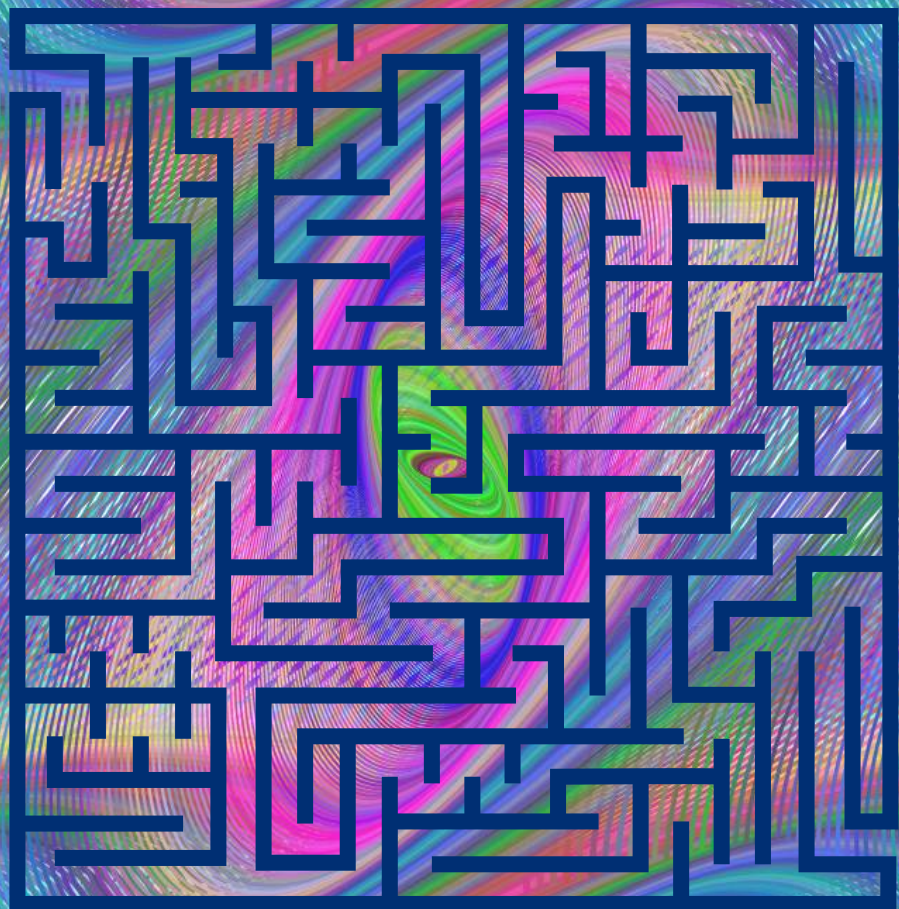
REGLA: Realiza siempre la secuencia rojo - azul - amarillo. Repite la secuencia de manera estricta para llegar al final: rojo - azul - amarillo, rojo - azul - amarillo...

DISTRACCIÓN FATAL

La presencia de una distracción que se introduce en nuestro cerebro (parcialmente ocupado procesando la información visual) es suficiente para que nos cueste un poco más encontrar la salida del laberinto.

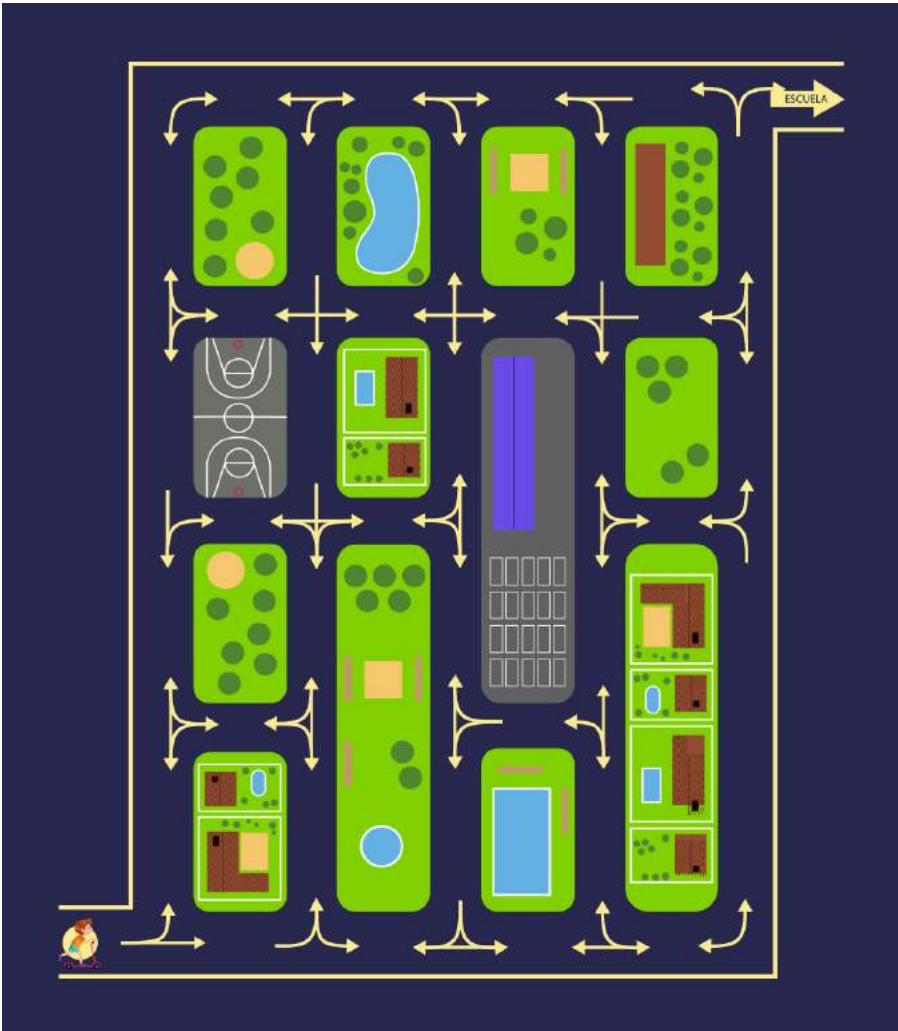


DISTRACCIÓN FATAL



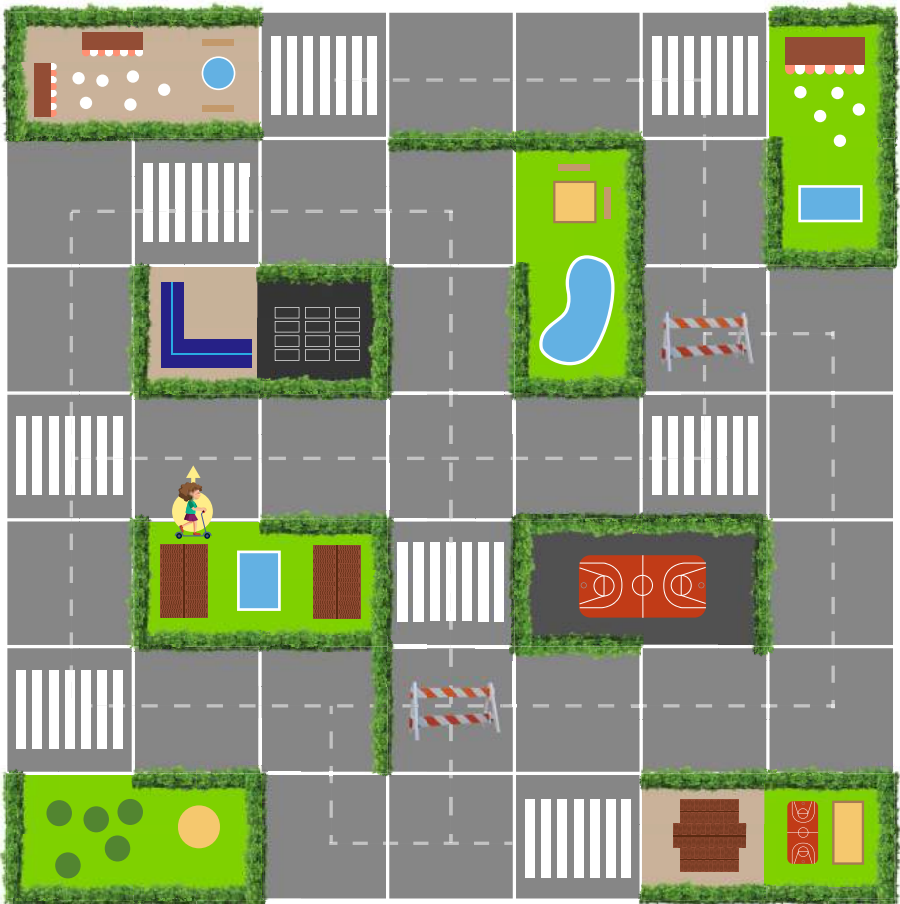
TEST DE CONDUCCIÓN

Beber una copa de más, tener lapsus de memoria y no atinar con el camino de vuelta van de la mano. Si te cuesta encontrar el camino, te habremos pillado.

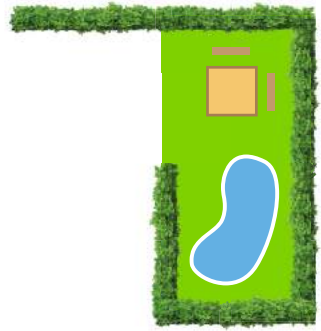
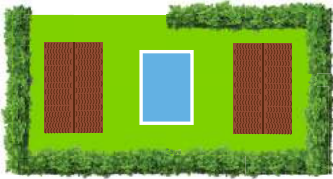


TENEMOS CEREBRO DE TURISTAS

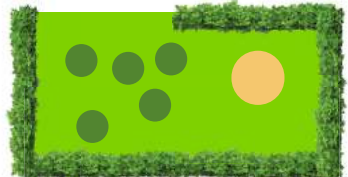
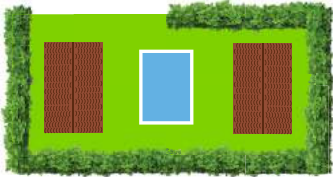
Ordena en cada caso los siguientes movimientos a fin de alcanzar tu destino.



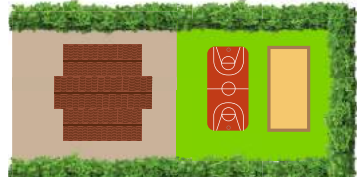
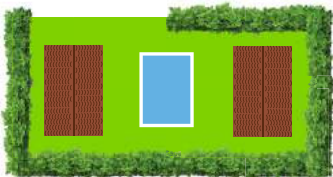
Recorrido 1



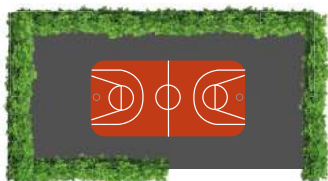
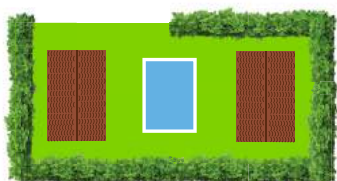
Recorrido 2



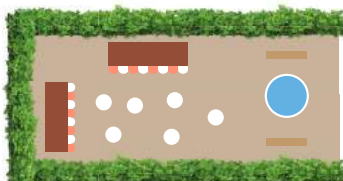
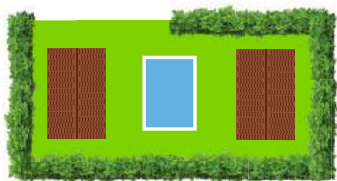
Recorrido 3



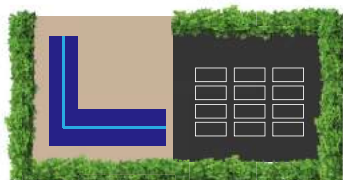
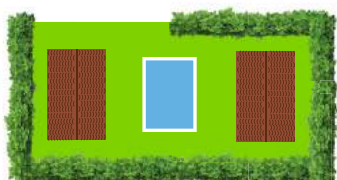
Recorrido 4



Recorrido 5

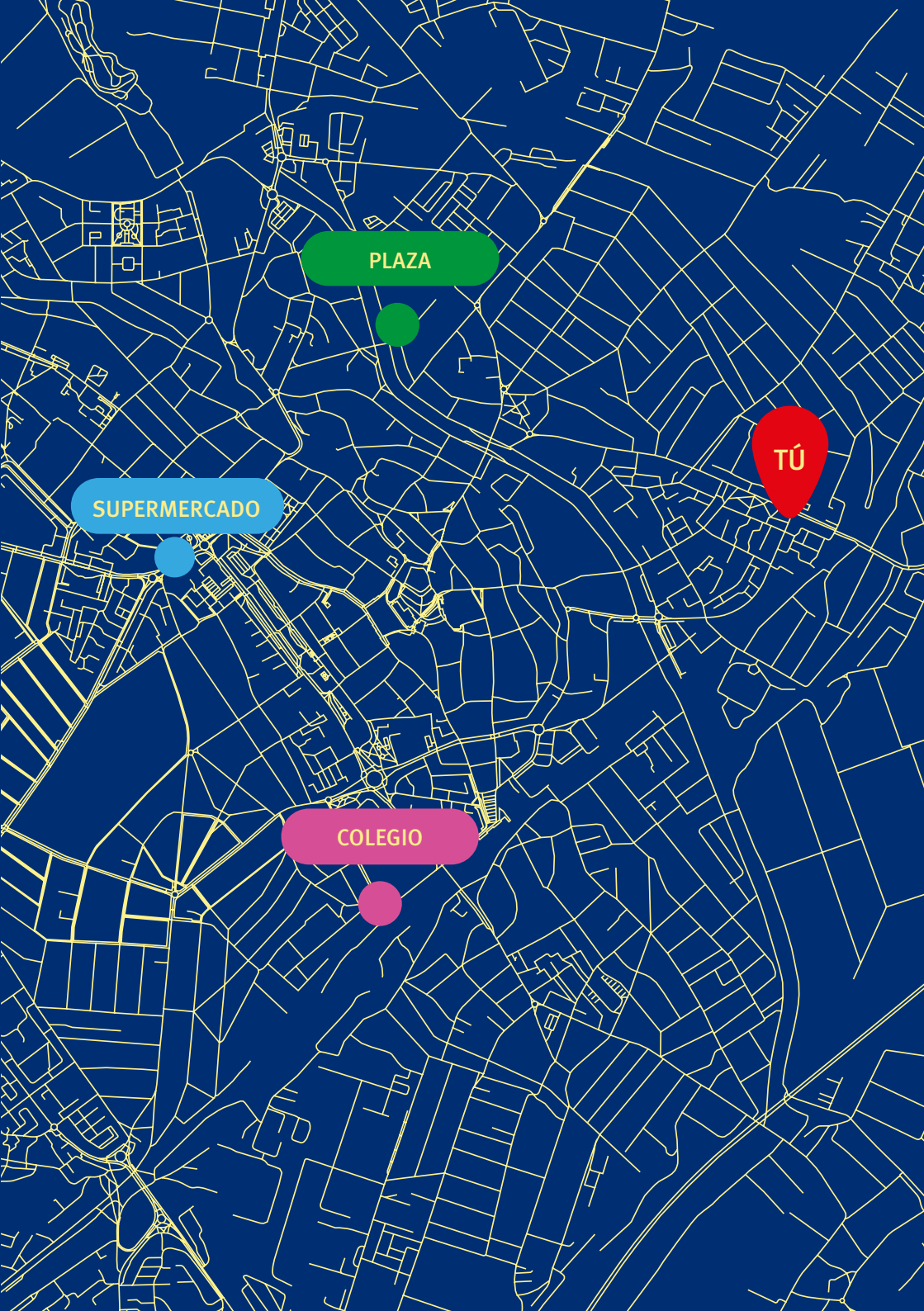


Recorrido 6



DÍME DÓNDE VIVES Y TE DIRÉ CÓMO TE ORIENTAS

Un reciente estudio confirma algo que parece obvio: que vivir en un entorno de elevada laberinticidad aumenta nuestra capacidad de orientación. Identifica el camino más corto para llegar a cada destino desde tu posición.

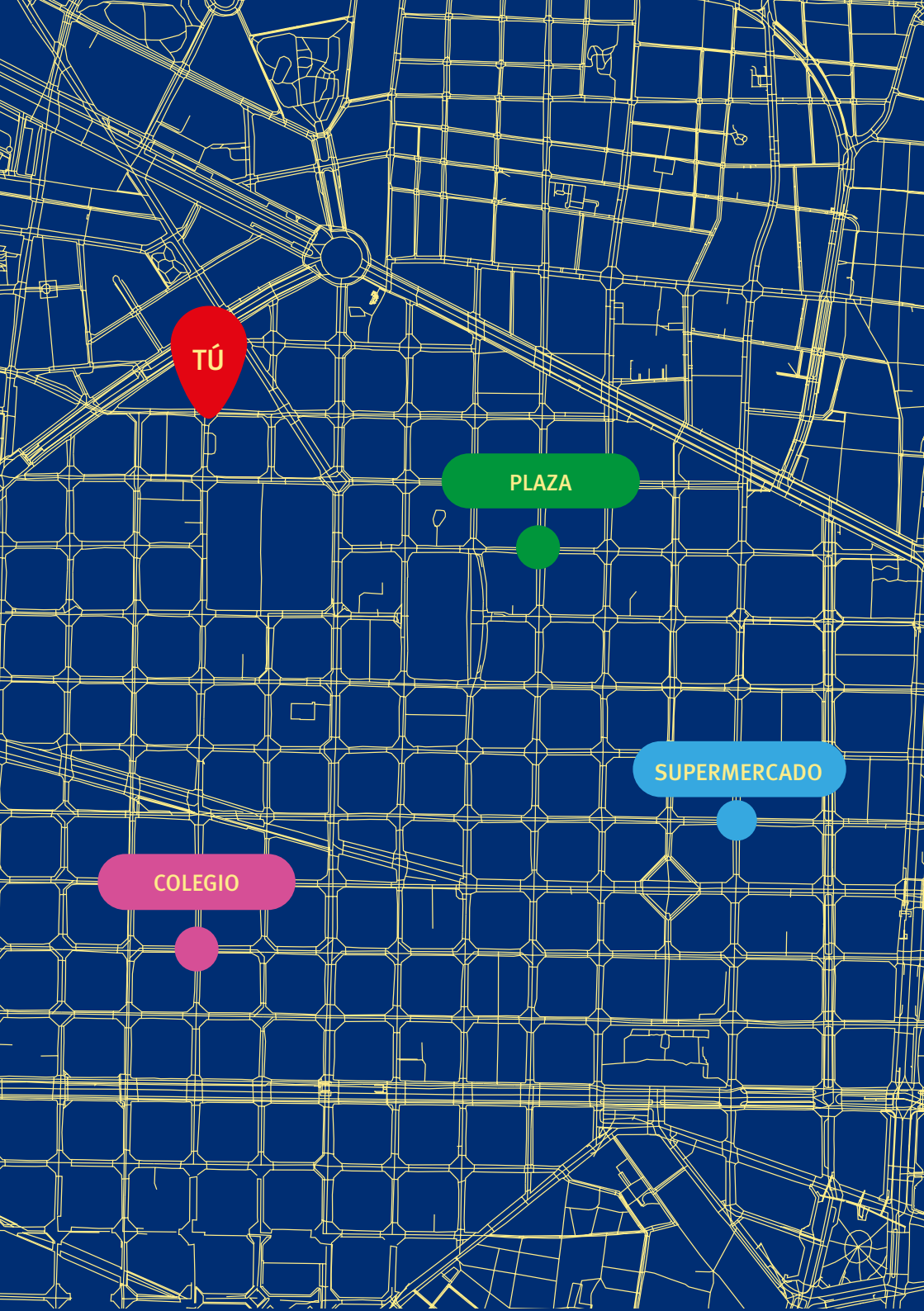


PLAZA

SUPERMERCADO

COLEGIO

TÚ



TÚ

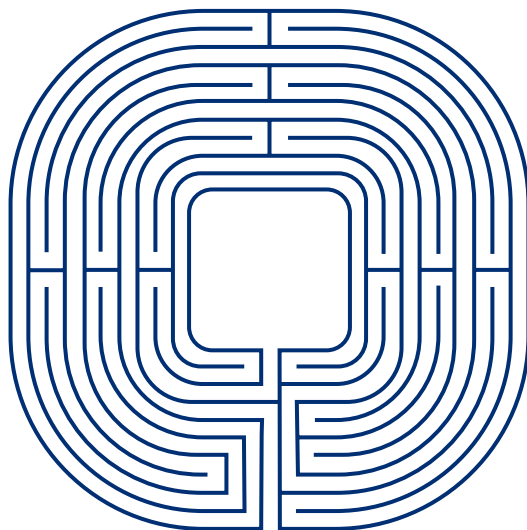
PLAZA

SUPERMERCADO

COLEGIO

DESCONEXIÓN MENTAL

Relaja tu mente recorriendo estos laberintos con el dedo.

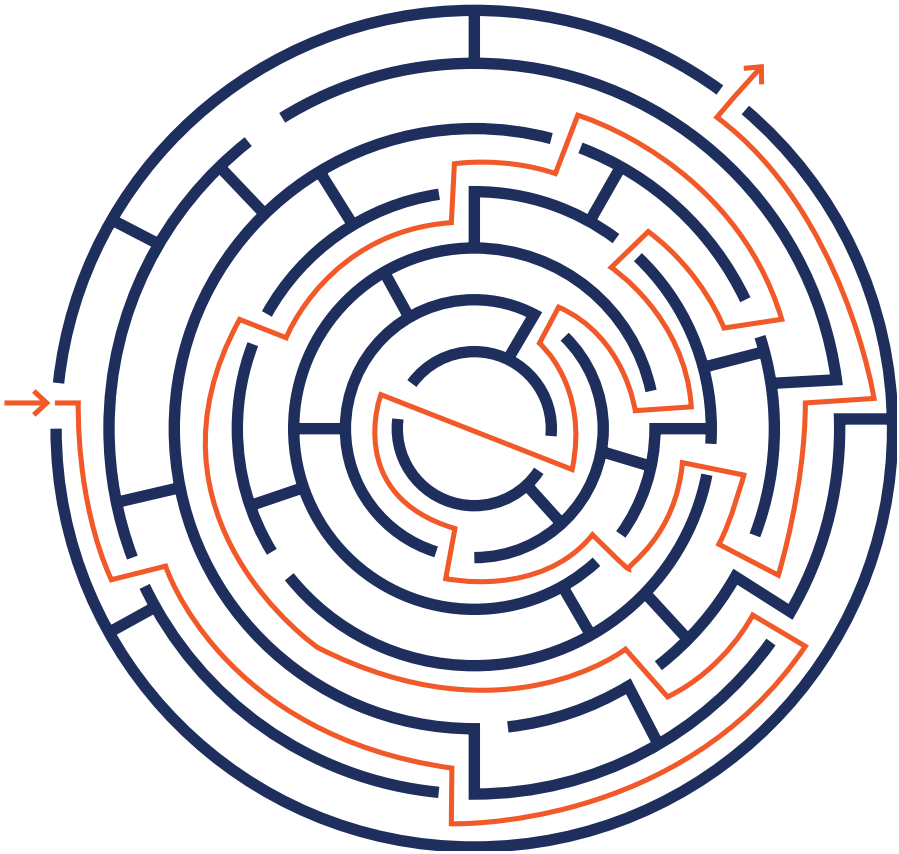


**Juega y compruébalo
en primera persona**

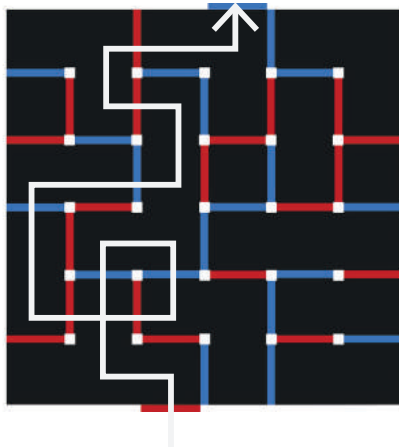
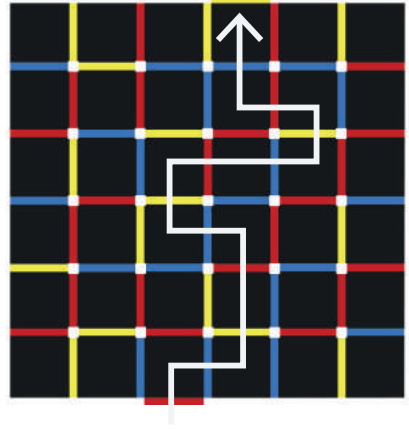
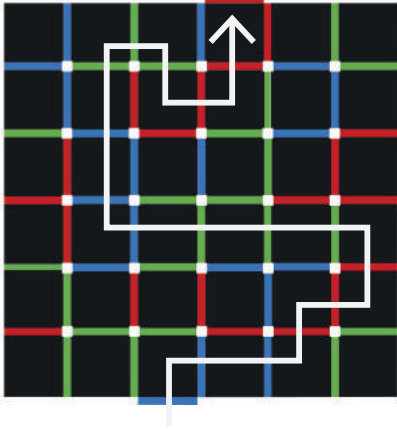
SOLUCIONARIO

SOLUCIONARIO

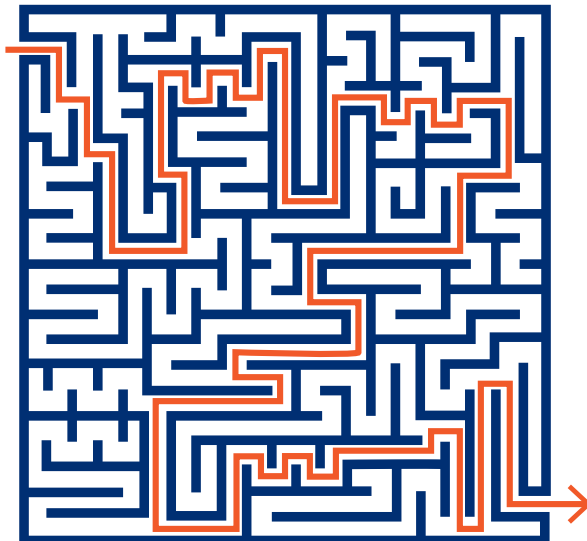
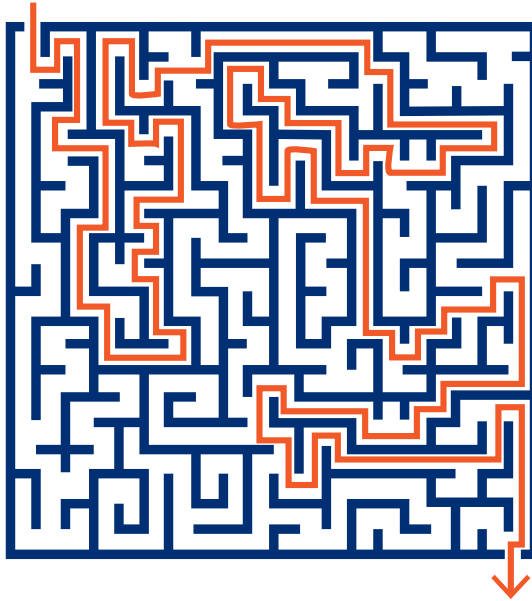
Laberinto a oscuras



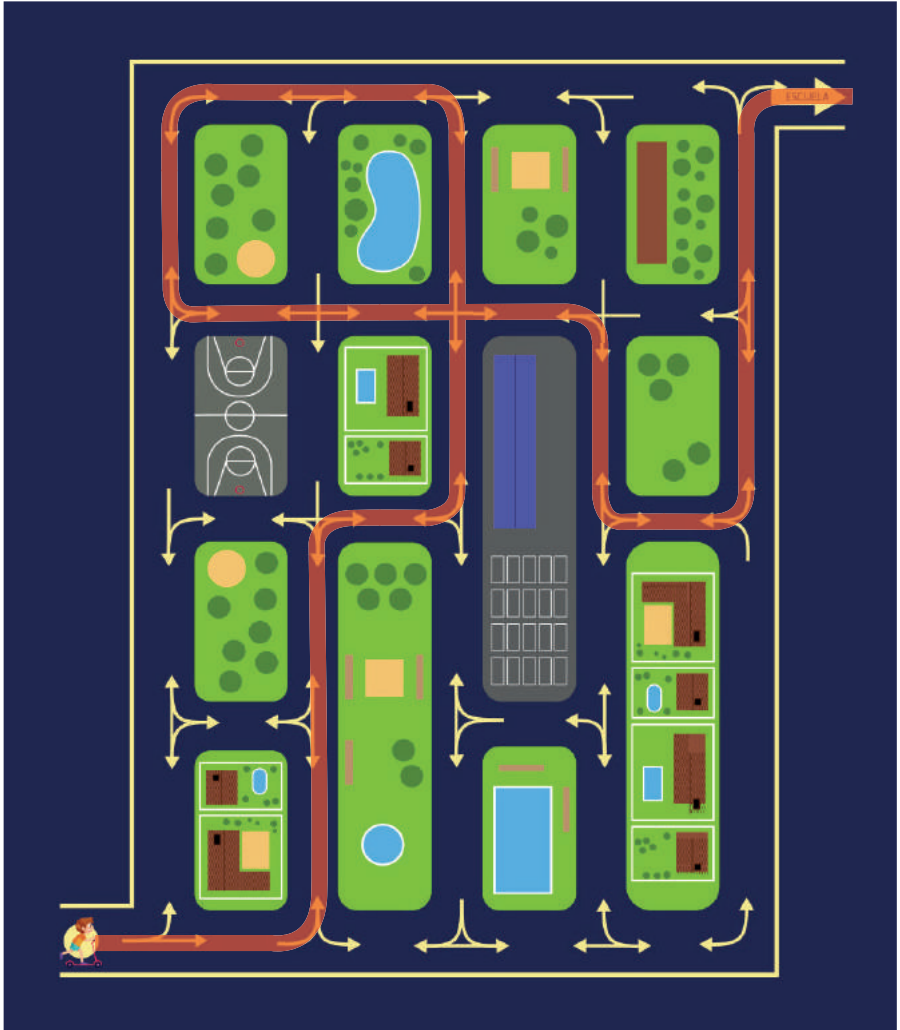
Proceso: acción de ir hacia delante



Distracción fatal

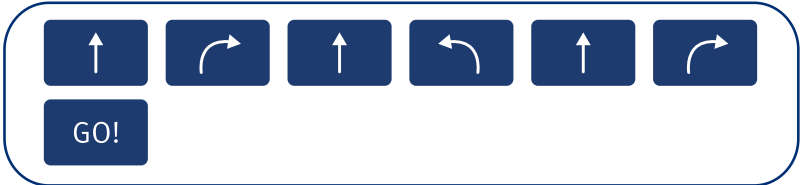


Test de conducción

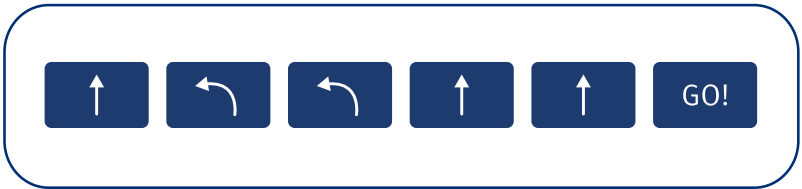


Tenemos cerebros de turistas

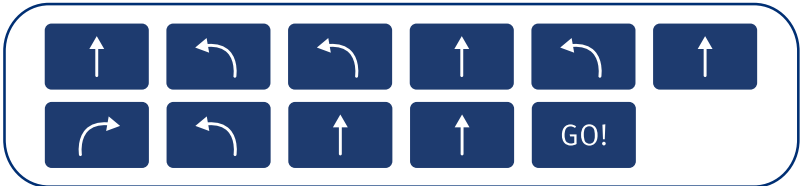
1



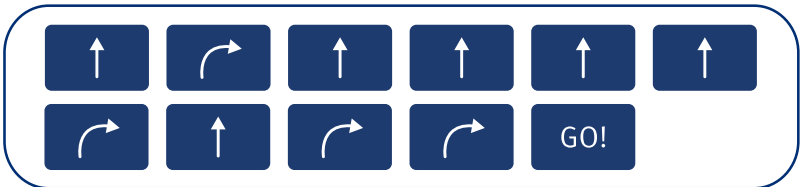
2



3



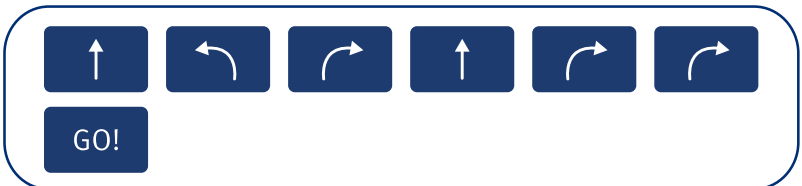
4



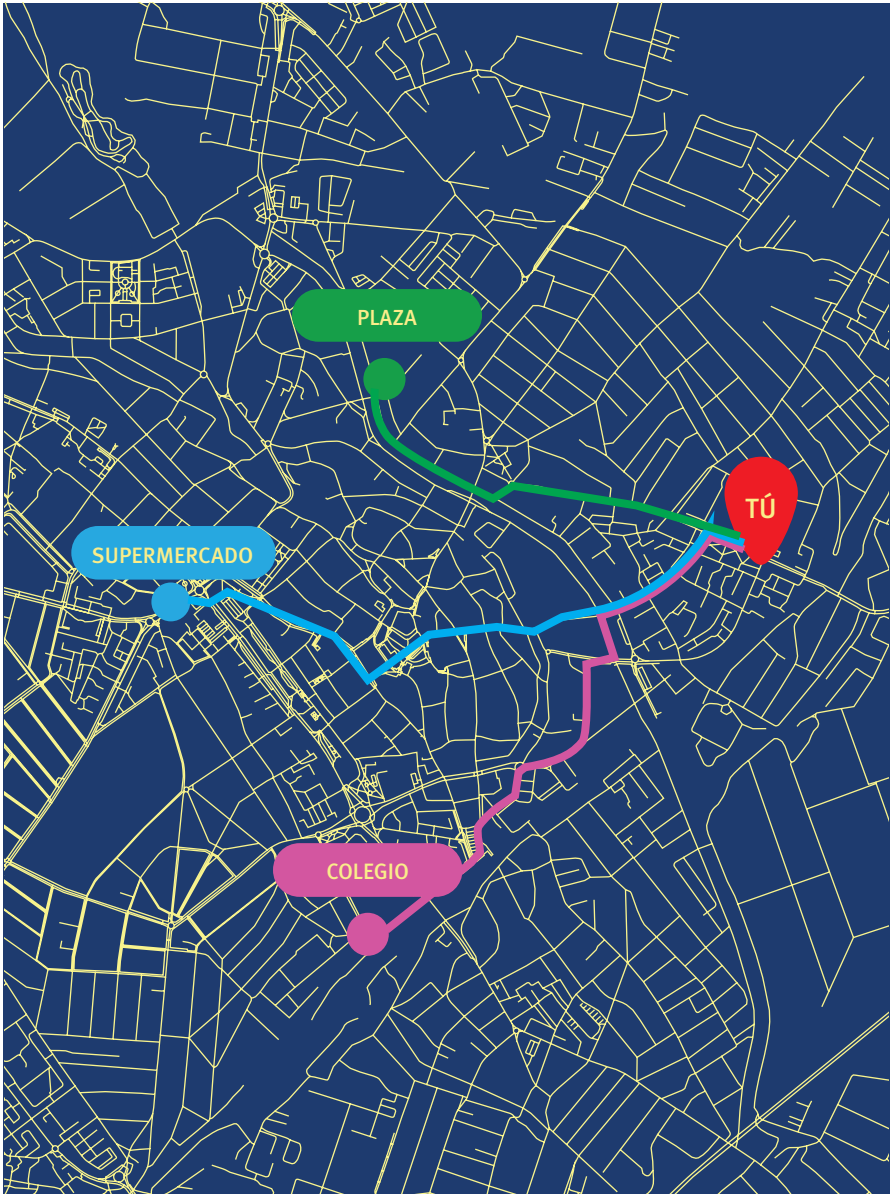
5



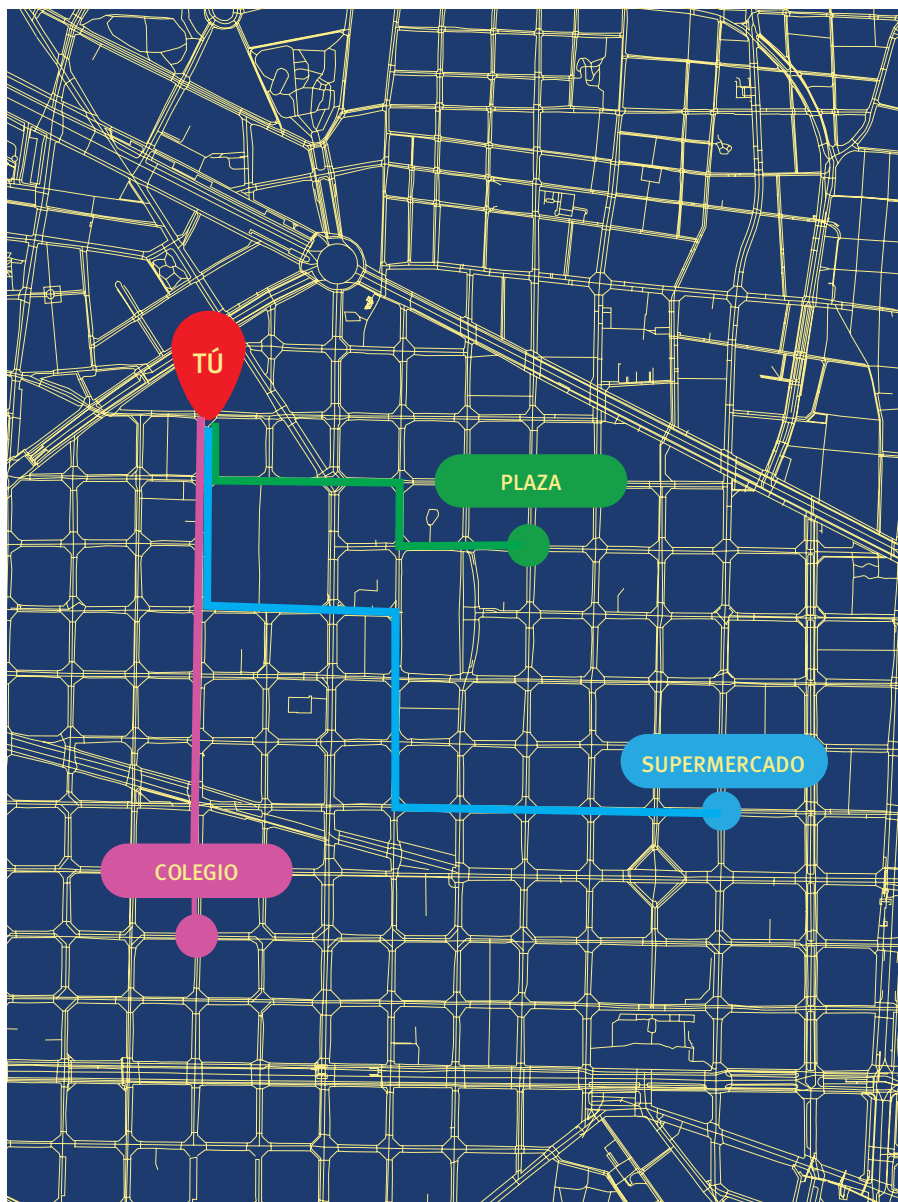
6



Díme dónde vives y te diré cómo te orientas



Díme dónde vives y te diré cómo te orientas



La exposición

ÁLBUM FOTOGRÁFICO





A MODO DE PRESENTACIÓN

Los laberintos siempre han fascinado y cautivado al ser humano. Primero como protagonistas de leyendas, ritos y mitos, como el del laberinto construido por Dédalo en Creta donde encandó al Minotauro que acababa venciendo Teses gracias a la ayuda de Ariadna, quien le proporcionaba el hilo para escapar. 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, en paralelo, y con la impusión de la ciencia, como reto matemático origen de nuevas ramas como la topología y la teoría de grafos. Ya en el s. 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 de la investigación neurocientífica, al que pretende explorar esta exposición. Todo ello de un modo práctico y lúdico, con laberintos que conviertan a los visitantes en sujetos de estudio y les permitan comprobar en primera persona las explicaciones y elementos de información que presenta la muestra.



*Laberinto, 1988, parte del proyecto "Laberinto y Cerebro".
Desarrollado por el artista, Víctor de la Cruz.
Muestra de la exposición "Laberinto y Cerebro".
Muestra de la exposición "Laberinto y Cerebro".
Muestra de la exposición "Laberinto y Cerebro".
Muestra de la exposición "Laberinto y Cerebro".*

JUGANDO A ESTIMULAR LA MENTE

Los laberintos de la exposición son una herramienta para la investigación neurocientífica. A través de ellos se pretende estimular la mente y observar las respuestas del cerebro.

Los laberintos de la exposición son una herramienta para la investigación neurocientífica. A través de ellos se pretende estimular la mente y observar las respuestas del cerebro.

Los laberintos de la exposición son una herramienta para la investigación neurocientífica. A través de ellos se pretende estimular la mente y observar las respuestas del cerebro.

Los laberintos de la exposición son una herramienta para la investigación neurocientífica. A través de ellos se pretende estimular la mente y observar las respuestas del cerebro.

Los laberintos de la exposición son una herramienta para la investigación neurocientífica. A través de ellos se pretende estimular la mente y observar las respuestas del cerebro.

Los laberintos de la exposición son una herramienta para la investigación neurocientífica. A través de ellos se pretende estimular la mente y observar las respuestas del cerebro.

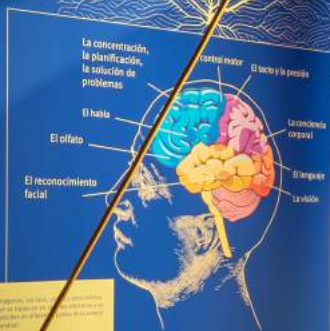
Los laberintos de la exposición son una herramienta para la investigación neurocientífica. A través de ellos se pretende estimular la mente y observar las respuestas del cerebro.

Los laberintos de la exposición son una herramienta para la investigación neurocientífica. A través de ellos se pretende estimular la mente y observar las respuestas del cerebro.

Los laberintos de la exposición son una herramienta para la investigación neurocientífica. A través de ellos se pretende estimular la mente y observar las respuestas del cerebro.



PON SENTIDO A TUS RECUERDOS



El cerebro humano es un órgano muy complejo que permite a los seres vivos interactuar con su entorno. A través de él, podemos percibir, pensar, sentir y actuar. En este panel, se muestran algunas de las funciones más importantes del cerebro, como la concentración, la planificación, la solución de problemas, el hábito, el olfato, el reconocimiento facial, el control motor, el tacto y la presión, la conciencia corporal, el lenguaje y la visión.



El cerebro humano es un órgano muy complejo que permite a los seres vivos interactuar con su entorno. A través de él, podemos percibir, pensar, sentir y actuar. En este panel, se muestran algunas de las funciones más importantes del cerebro, como la concentración, la planificación, la solución de problemas, el hábito, el olfato, el reconocimiento facial, el control motor, el tacto y la presión, la conciencia corporal, el lenguaje y la visión.

BIBLIOGRAFÍA

Artículos de publicaciones científicas:

Bongiorno, C., Zhou, Y., Kryven, M. et al. *Vector-based pedestrian navigation in cities*. *Nat Comput Sci* 1, 678–685 (2021). <https://doi.org/10.1038/s43588-021-00130-y>

Coutrot, A., Manley, E., Goodroe, S. et al. *Entropy of city street networks linked to future spatial navigation ability*. *Nature* 604, 104–110 (2022). <https://doi.org/10.1038/s41586-022-04486-7>

Goodwin, C. J. *A-mazing research*. *Monitor on Psychology*, 43(2). February 1, 2012. <https://www.apa.org/monitor/2012/02/research>

Kieseler M-L., Duchaine B. *Persistent prosopagnosia following covid-19*. *Cortex*, Volume 162, Pages 56–64, (May, 2023) (<https://doi.org/10.1016/j.cortex.2023.01.012>)

Lin et al. *On Variation in Mindfulness Training: A Multimodal Study of Brief Open Monitoring Meditation on Error Monitoring*. *Brain Sciences* 9/9:226 (2019) <https://doi.org/10.3390/brainsci9090226>

Maguire E., Gadian D., Johnsrude I., Frith C. et al. *Navigation-related structural change in the hippocampi of taxi drivers*. *PNAS*, 97 (8) 4398–4403 (2000) <https://doi.org/10.1073/pnas.070039597>

Mennenga SE, Baxter LC, Grunfeld IS, Brewer GA, Aiken LS, Engler-Chiurazzi EB, Camp BW, Acosta JJ, Braden BB, Schaefer KR, Gerson JE, Lavery CN, Tsang CW, Hewitt LT, Kingston ML, Koebele SV, Patten KJ, Ball BH, McBeath MK, Bimonte-Nelson HA. *Navigating to new frontiers in behavioral neuroscience: traditional neuropsychological tests predict human performance on a rodent-inspired radial-arm maze*. *Front Behav Neurosci*. (2014) doi: 10.3389/fnbeh.2014.00294

Rosenberg M, Zhang T, Perona P, Meister M. *Mice in a labyrinth show rapid learning, sudden insight, and efficient exploration*. *Elife*. (2021 Jul 1); doi: 10.7554/eLife.66175.

Schulte, T., Oberlin, B.G., Kareken, D.A., Marinkovic, K., Müller–Oehring, E.M., Meyerhoff, D.J. and Tapert, S. *How Acute and Chronic Alcohol Consumption Affects Brain Networks: Insights from Multimodal Neuroimaging*. *Alcohol Clin Exp Res*, 36: 2017–2027 (2012). <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1530-0277.2012.01831.x>

Shikauchi, Y., Ishii, S. *Decoding the view expectation during learned maze navigation from human fronto–parietal network*. *Sci Rep* 5, 17648 (2016). <https://doi.org/10.1038/srep17648>

Wais, P.E., Arioli, M., Anguera–Singla, R. et al. *Virtual reality video game improves high–fidelity memory in older adults*. *Sci Rep* 11, 2552 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-82109-3>

Wood, H. *A virtual Morris maze to assess cognitive impairment in Alzheimer disease*. *Nat Rev Neurol* 12, 126 (2016). <https://www.nature.com/articles/nrneurol.2016.16>

Zhao Min, Marquez, Andre G. 2013. *Understanding humans strategies in maze solving*. arXiv:1307.5713 (2013) (<https://doi.org/10.48550/arXiv.1307.5713>)

Zheng, L., Gao, Z., McAvan, A.S. et al. *Partially overlapping spatial environments trigger reinstatement in hippocampus and schema representations in prefrontal cortex*. *Nat Commun* 12, 6231 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41467-021-26560-w>

Artículos de divulgación:

Billok, Jennifer. *Walk the world's most meditative labyrinths*. *Smithsonian Magazine* (May, 2016).

Dalton, Ruth; Dalton, Nick. *How to scape a maze according to maths*. *The Conversation* ([//theconversation.com](http://theconversation.com)), (Enero. 2017).

Gholipour, Bahar. *Can You Diagnose Dementia from a Gaming App?* *Scientific American* (November, 2016).

Jabr, Ferris. *Cache Cab: Taxi Drivers' Brains Grow to Navigate London's Streets*. *Scientific American*. (December, 2011).

Lee, Albert. *How the Brain Makes Sense of Spaces, Large and Small*. Howard Hughes Medicine Institute (www.hhmi.org). (August, 2014).

Mittan, Kyle. *Ever been lost in grocery store? Researchers are closer to knowing why it happens*. *University Comuniactions*, The University of Arizona, (November, 2021).

Moser, May-Britt; Moser, Edvard I. *The Brain's GPS Tells You Where You Are and Where You've Come from*. *Scientific American*, (january, 2016).

Olson, Amy. *Dartmouth study finds impairments in face recognition and navigational abilities*. Deamouth University (home.darmouth.edu/news) (march, 2023).

Ratti, Carlo. *Cellphone data shows that people navigate by keeping their destinations in front of them – even when that's not the most efficient route*. *The Conversation* ([//theconversation.com](http://theconversation.com)). (october, 2021).

Sánchez, Carlos Manuel. *Rafael Yuste: el guardián del cerebro*. *XL Semanal*., 1782, diciembre 2021.

Sanders, Laura. *Where you grew up may shape your navigational skills*. *ScienceNews* (www.sciencenews.org), (April, 2022).

Singer, Emily. *Brains's positioning system linked to memory*. *Quanta Magazine* (www.quantamagazine.org) october, 2014.

Trafton, Ann. *How the brain navigates cities*. *MIT News Office*; Massachusetts Institute of Technology. (October, 2021).

Weismann, Emma. *Amazing maze: what science says about solving labyrinths*. *National Geographic* (www.nationalgeographic.com), july, 2014.

Wilke, Caroline. *Navigating a virtual world helped older adult's memory*. *Scientific American*, (june 1, 2021).

Yadav Geetha. *The brain's GPS—Unraveling the functioning of our navigation system*. *Bioradiations* (www.bioradiations.com). (November, 2014).

Páginas web:

<https://www.alzheimersresearchuk.org/research/for-researchers/resources-and-information/sea-hero-quest/>

<https://www.telekom.com/en/corporate-responsibility/corporate-responsibility/sea-hero-quest-game-for-good-587134>

<https://labyrinthresourcegroup.org/what-are-labyrinths/>

<https://www.nobelprize.org/prizes/medicine/2014/summary/>

<https://www.nobelprize.org/prizes/medicine/1906/summary/>

GALEGO

Índice

Introducción	110
Os labirintos do cerebro	115
La exposición	145
Interactivos	167
Solucionario	183
Bibliografía	191

INTRODUCCIÓN

Fernando Luis Fontes Blanco

Director MUNCYT

Recordo coma se fose hoxe a primeira vez que tiveren a intensa emoción e o privilexio de ter nas miñas mans a Copa de Aison foi en 2008, cando, como facultativo-conservador do Museo Arqueolóxico Nacional, encargáronme coordinar a montaxe da exposición temporal *Tesoros del MAN*, inaugurada con ocasión do peche parcial do museo debido ás obras de rehabilitación do inmovble que se realizaban naquel momento.

Este magnífico *kylix* de cerámica ática, de figuras vermellas, de mediados do s. V antes da nosa era, está decorado coas fazañas de Teseo, o heroe mítico que derrotou ao Minotauro, a besta híbrida, devoradora de humanos, que o ambicioso rei Minos encerrara no intrincado labirinto construído en Cnossos (Creta) polo arquitecto Dédalo, e do que Teseo escaparía grazas ao fío que lle proporcionou a súa namorada, a princesa Ariadna, filla de Minos. No medallón da copa, Teseo arrastra ao Minotauro vencido fóra do labirinto e ofrécello a Atenea, a deusa que dá nome á polis ática da que procede o novo heroe. Esta copa de cerámica grega é unha das obras mestras da colección do Museo Arqueolóxico Nacional, un ben cultural patrimonio da Humanidade e a obra cume do pintor Aison, ata o punto de que é a única obra súa coñecida na que escribiu a súa firma.



Teseo, tras salir del laberinto, muestra a Atenea el Minotauro ya vencido.

Copa de Aison.

Técnica de figuras rojas.

420 a.C. Ática (Grecia).

©Museo Arqueológico Nacional. Inv. 11265.

Foto: Fernando Velasco Mora.

O mito do Minotauro e o Labirinto cativou a mente da civilización occidental desde entón ata os nosos días. Un dos exemplos máis belos da historia da arte universal é a *Suite Vollard*, un conxunto de 100 estampas de estilo neoclásico gravado por Pablo Picasso e producido a partir de 1930, denominado así polo marchante que a encargou, Ambroise Vollard. A suite é considerada a serie de gravados máis importantes e influentes da arte moderna. A reprodución dun gravado da *Suite Vollard*, do xenial artista malagueño do que agora celebramos o 50º aniversario do seu falecemento, preside o meu dormitorio desde hai moitos anos e nel móstrase unha escena báquica co Minotauro tentando seducir a unha ninfa, antes de ser derrotado e vencido polo heroe.

Os labirintos sempre estiveron presentes dun modo ou outro no noso imaxinario cultural, ben sexa nos mosaicos romanos recollendo a loita entre Teseo e a besta híbrida, nos pavimentos das catedrais románicas e góticas ou nos xardíns palacianos barrocos, neoclásicos e románticos. Artistas, deseñadores e creadores recolleron ese imaxinario e usárono, como exemplo, nalgunhas das súas creacións. En literatura, a presenza de labirintos na obra de Jorge Luis Borges é tan importante que se creou a expresión *labirinto borgiano* como símil literario. Na *Biblioteca de Babel*, inspiración recoñecida por Umberto Eco para *El Nombre de la Rosa*, imaxina o labirinto de palabras definitivo: unha biblioteca infinita que alberga todos os libros e todas as combinacións de letras posibles. Na *Historia Interminable* de Michael Ende aparece o ‘*Templo de las Mil Puertas*’, unha sucesión interminable de habitacións idénticas excepto por dúas portas definidas por oposición: unha enorme e outra diminuta, unha xeadá e outra ardente. No *General en su Laberinto*, Gabriel García Márquez fai referencia á comparación do labirinto co enigma da morte, o labirinto do que o ser humano non pode saír xamais.

Na historia da arte, destacamos a obra alegórica *El Laberinto del amor* pintada por Tintoretto entre 1550 e 1560 (*Royal Collection Trust*, Reino Unido), que representa varias escenas bíblicas relacionadas co amor terreal nun labirinto axardinado imaxinario. Dous séculos despois, atopamos os labirintos imposibles e hipnóticos das estampas de Giovanni Battista Piranesi nas súas *Prisiones imaginarias* (1745), das cales non se pode escapar, que se emparentan, xa na Idade Contemporánea, cos labirintos imposibles de M. C. Escher (1898-1972), produto da súa imaxinación desbordante, que atraparon ao público de todas as idades desde a súa creación. No cinema, os labirintos de sebes están presentes en moitas películas como na versión de Walt Disney do clásico de Lewis Carroll *Alicia en el País de las Maravillas* onde Alicia pérdese nos labirínticos xardíns da Raíña de Corazóns ou, tamén, a angustiosa e terrorífica persecución no labirinto de sebes de *El Resplandor* (*The Shinning*, Stanley Kubrick 1980), que pasou á historia da sétima arte. O mito do labirinto, Teseo e Ariadna, tamén está presente na inquietante *Origen* (*Inception*, Christopher Nolan 2010) e inspirou a Guillermo del Toro para a premiada *El Laberinto del fauno* (2006).

Los laberintos imposibles de Piranesi e Escher e inspiraron á súa vez a Jim Henson para o seu inclasificable *Dentro del laberinto* (*Labyrinth*, 1986), protagonizada por Jennifer Connelly e David Bowie, e tamén a Vincenzo Natali para crear a claustrofóbica e atercedora *Cube* (1997).

Os xogos e pasatempos labirínticos forman parte da aprendizaxe na cultura occidental desde finais do s. XIX e principios do s. XX. Nos anos 60 e 70 do pasado século empezáronse a popularizar uns xogos de mesa ou xogos de rol denominados *dungeons crawls* ou xogos de exploración de alxubes, os cales alcanzaron gran popularidade, sendo os máis famosos *Dungeons & Dragons* (1974) e *Hero Quest* (1989). Como non podía ser doutra forma, os videoxogos tamén incorporaron os labirintos no seu deseño desde o comezo: *Pac-man* ou *Comecocos*,

desenvolvido nos 80, foi o *arcade* que máis éxito tivo de todos os tempos e *Snake* alcanzou unha enorme popularidade comercializado nos terminal móbiles Nokia. Eu mesmo, durante a miña adolescencia e parte da mocidade, pasei centos de horas en interminables partidas de *Wolfenstein 3-D*, *Doom* ou *Quake*, perseguindo aos meus amigos por intrincados labirintos virtuais que previamente memorizara.

O que non podía imaxinar é que, anos despois, cando, recentemente incorporado á dirección do Museo Nacional de Ciencia e Tecnoloxía, o persoal técnico da sede de A Coruña, mencionoume a exposición temporal na que se estaba traballando, ían unir a miña paixón polos labirintos, a arqueoloxía e a arte coa miña paixón pola ciencia. Traballando neste proxecto, aprendín a importancia dos labirintos para o desenvolvemento de teorías matemáticas, experimentos científicos e para a súa aplicación á neurociencia e ao estudo do cerebro e as enfermidades mentais. A casualidade fixo que este proxecto expositivo temporal coincida no tempo coa celebración do Ano Cajal, dedicado a Santiago Ramón y Cajal (1852-1934), considerado o pai da neurociencia. Deste xeito, e a través dos tempos, únense o mito e a lenda coa razón e o coñecemento científico, para afondar, dunha forma lúdica e apaixonante, no coñecemento do noso cerebro e, polo tanto, de nós mesmos.

OS LABIRINTOS DO CEREBRO

F. Javier Cudeiro Mazaira

Comisario de la exposición

Os homes deben saber que do cerebro, e só del, veñen as alegrías, as delicias, o pracer, a risa, e tamén o sufrimento, a dor e os queixumes.

E por el, adquirimos sabedoría e coñecemento, vemos e oímos, sabemos o que está ben e o que está mal, o que é doce e o que é amargo. E polo mesmo órgano volvémonos tolos e deliramos, e o medo e os terrores asáltannos.

É o máximo poder no home.

É o noso intérprete daquelas cousas que están no aire.

(Hipócrates, Corpus Hipocraticum)

Este texto, redactado hai 2.500 anos por Hipócrates, un dos pais da medicina, puido ser escrito en calquera dos laboratorios actuais onde modernos científicos dedícanse ao estudo da estrutura, a función e a patoloxía do sistema nervioso. Aproxímanos á idea de que todo o que somos capaces de facer, sentir e crear depende da actividade dunha estrutura de pouco máis de 1,4 kg, fundamentalmente composta de auga, graxa e proteínas pero que, pola súa extraordinaria complexidade estrutural, polo delicado e preciso axuste dos miles de millóns de pezas que a compoñen, é capaz de crear unha enorme variedade de funcións tan fascinante como a percepción do mundo a través dos sentidos, as emocións, a linguaxe simbólica, a comunicación oral, a conciencia individual e social e mesmo a ansia de transcender despois da morte.

Somos o que é o noso cerebro en interacción co mundo que nos rodea e, dalgunha forma, un resultado tan extraordinario débese á actividade das células que o constitúen e que forman parte de circuítos locais que, á súa vez, intégranse en áreas que, á súa vez, integran unha inmensa rede neural. Unha intrincada rede de conexións que se cruzan, xúntanse,

diverxen e crean un universo de camiños para que a actividade das neuronas viaxe por un labiríntico sistema de comunicación e, así, vexamos, toquemos, sexamos felices ou desgraciados, sintamos compaixón, ira, amor e recoñezámonos como entes individuais cun pasado, que viven no presente e proxéctanse cara ao futuro.

O cerebro é un labirinto de labirintos. Labirinto debido á súa complexísima estrutura, á vez que á infinidade de preguntas que nos suscita sobre a súa función e as súas doenzas. O que nós somos é á vez un misterio e unha fonte de misterios que día a día van xurdindo a medida que atopamos saídas aos retos que nos ofrece o cerebro, que, continuamente, abre portas ao inexplorado e obríganos a resolver novos retos do coñecemento. É por iso que o título e o contido desta exposición non poden ser máis pertinentes. Permitíranos entender mellor ao órgano que nos fai humanos á vez que, utilizando os labirintos como metáfora de procura e superación, poder comprender un pouco máis a súa labiríntica función e como pode mellorarse ese funcionamento mediante o uso de labirintos, mesmo na presenza de enfermidades como a demencia; un afortunado bucle de interacción.

OS LABIRINTOS NA HISTORIA

Os labirintos foron parte da historia da humanidade durante milenios, desempeñando un papel destacado en diversas culturas e civilizacións. Desde os mitos e lendas antigas ata a arquitectura e a arte, os labirintos capturaron a imaxinación das persoas e deixaron unha pegada perdurable na nosa historia colectiva (<https://www.worldhistory.org/labyrinth/>).

O labirinto máis famoso e emblemático de todos é, sen dúbida, o labirinto de Cnossos (Creta), asociado coa lenda do Minotauro. Segundo a mitoloxía grega, foi deseñado polo arquitecto Dédalo e encargado polo rei Minos para confinar ao Minotauro, unha criatura metade home e metade touro. O heroe Teseo logrou ingresar ao labirinto e derrotar ao Minotauro, utilizando un fío que lle dera Ariadna para atopar a saída. Esta historia inspirou numerosas representacións artísticas ao longo dos séculos e converteuse nun símbolo de desafío e superación.

A lenda cóntanos que cando Minos de Cnosos en Creta competía cos seus irmáns pola coroa, rezou a Poseidón para que lle enviase un touro branco como un sinal da bendición do deus sobre a súa causa. Minos debía sacrificar o touro a Poseidón, pero, encantado pola súa beleza, decidiu conservalo e sacrificar un dos seus touros de menor presenza. Poseidón, enfurecido por esta ingratidade, fixo que a esposa de Minos, Pasiphae, namorase do touro e emparellase con el. A criatura que deu a luz foi o Minotauro, un ser salvaxe, fóra de control e que se alimentaba de carne humana. Minos encargou entón a Dédalo, o arquitecto, que crease un labirinto para reter ao monstro. Así se fixo, pero a besta, aínda que confinada no labirinto, debía ser alimentada continuamente. Para este propósito, Atenas pagaba un tributo moi sanguento enviando anualmente varios mozos a Creta para introducilos no labirinto e aplacar a ferocidade do Minotauro. Decidido a terminar co sufrimento do seu pobo, Teseo, fillo do rei Exeo, ofreceuse como un dos sacrificios coa esperanza de dar morte á besta.

Unha vez en Creta, Teseo atraeu a atención de Ariadna, a filla de Minos, que se namorou del e deulle en segredo unha espada e un nobelo de fío. Díxolle que atase o fío na abertura do labirinto antes de entrar e, así, despois de matar ao Minotauro, podería seguilo de volta á liberdade. Segundo a lenda, Teseo mata ao monstro, salva aos mozos que foran enviados con el e escapa de Creta con Ariadna.

Ademais da mitoloxía grega, os labirintos tamén teñen unha presenza significativa noutras culturas antigas. En Exipto, por exemplo, os xeroglíficos e os gravado en tumbas representaban labirintos como símbolos de transición e renacemento. Na antiga Roma, construíronse labirintos en mosaicos e frescos, e utilizáronse como espazos para a reflexión e a meditación.

En Exipto, o máis famoso é o labirinto de Hawara. Esta construción era tan impresionante que, segundo Heródoto, rivalizaba con calquera das marabillas do mundo antigo. O labirinto era un recinto que formaba parte dun complexo composto por múltiples patios construído en Hawara por Amenemhet III, da XII Dinastía, durante o período do Reino Medio (2040-1782 a.C.). Tratábase do complexo mortuorio máis grandioso e intricado que calquera outro construído ata entón. Heródoto menciónao así:

Eu mesmo o vin e é unha marabilla que non se pode describir con palabras... Ten doce patios teitados con portas enfrontadas, seis ao norte e seis ao sur e en liña continua. Os pasadizos que atravesan as salas e as sinuosas entradas e saídas a través dos patios, na súa extrema complicación, causáronnos innumerables marabillas a medida que os percorríamos, desde o patio ás salas, e desde as salas aos corredores con columnas, e logo desde estes corredores a outras salas de novo, e desde as salas a outros patios despois. O teito do conxunto é de pedra,

do mesmo xeito que as paredes, e estas están cheas de figuras gravadas, e cada patio está rodeado de piares de pedra branca, axustados con gran exactitude. Na esquina onde termina o labirinto hai, preto, unha pirámide de 240 pés de altura e gravada con grandes animais. O camiño cara a ela é subterráneo. (Historias, II.148).

<https://www.worldhistory.org/labyrinth/>

A medida que avanzaba a historia, os labirintos continuaron tendo un impacto na arquitectura e o deseño. Na Idade Media, as catedrais góticas a miúdo presentaban deseños labirínticos no pavimento, que os peregrinos percorrían en busca de penitencia e espiritualidade. O labirinto máis famoso deste período é o da catedral de Chartres, Francia.

Durante o Renacemento, o interese polos labirintos renovouse, e creáronse xardíns labirínticos en toda Europa. Estes, como os famosos xardíns de Versalles, ofrecían aos visitantes unha contorna lúdica e desafiante para perderse e explorar. Os labirintos tamén se volveron populares nos libros e a literatura da época, como *Labirinto de fortuna* de Juan de Mena e *Labirinto de amor* de Diego de San Pedro.

Na nosa época, os labirintos atoparon novas formas de expresión e utilidade. Desde a súa inclusión en videoxogos e crebacabezas ata o seu uso como ferramenta terapéutica na rehabilitación e o tratamento de diversas condicións de saúde, os labirintos seguen sendo a fonte de inspiración e fascinación á que dedicamos esta exposición.

O COÑECEMENTO SOBRE O CEREBRO AO LONGO A HISTORIA

Os primeiros indicios da investigación do cerebro remóntanse ás antigas civilizacións exipcia e grega. Os antigos exipcios tiñan unha comprensión básica da anatomía humana e crían que o corpo estaba composto por varios órganos vitais, entre os que incluían o cerebro. Con todo, os exipcios non recoñecían a función e a importancia do cerebro como o entendemos na actualidade. Crían que o corazón era o asento da mente e a personalidade. O cerebro considerábase máis como unha masa xelatinosa e refugábase durante o proceso de momificación. Críase que a súa función principal era producir mucosidade e non se lle atribuíu un papel significativo na cognición nin o pensamento. A pesar desta percepción errónea sobre o cerebro, os antigos exipcios foron avanzados en moitos aspectos da medicina e a anatomía. Os seus coñecementos sobre o corpo humano foron fundamentais na antigüidade para o desenvolvemento posterior da medicina e a anatomía.

Con todo, foi durante o período helenístico que a comprensión do cerebro na antiga Grecia alcanzou o seu punto álxido. Hipócrates (460-370 a.C.), a miúdo considerado o pai da medicina, recoñeceu a importancia do cerebro e afirmou que era o órgano responsable das funcións sensoriais e motoras.

Herófilo e Erasístrato realizaron diseccións humanas e estudaron detalladamente a anatomía do cerebro. Herófilo (335-280 a.C.), considerado o primeiro anatomista, baseouse na disección de cadáveres para describir grandes achados anatómicos relacionados co sistema nervioso. Descubriu as meninxes, o cerebelo e clasificou os nervios en sensitivos e motores e tamén en voluntarios e involuntarios. Formulou, ademais, unha hipótese moi adiantada ao seu tempo: que a intelixencia reside no cerebro. Aristóteles (384-322 a.C.) afirmaba

que esa función era competencia do corazón e defendía que o cerebro era un sistema deseñado para arrefriar o sangue: os sabios tamén erran! Herófilo conseguiu diferenciar os nervios dos vasos sanguíneos e ligamentos, gañando novamente a partida a Aristóteles, que non os distinguía dos tendóns. Pola súa banda, Erasístrato (304-250 a.C.) abandonou a teoría humoral: foi un impulsor da anatomía e fisioloxía e unha figura importante da medicina alexandrina da súa época dourada polas súas acertadas descrições sobre a anatomía corporal.

Durante a Idade de Ouro do Islam, que abarca aproximadamente desde os séculos VIII ao XIII, os científicos e médicos árabes realizaron avances significativos en diversos campos, incluíndo a medicina. Inspirados na tradición médica grega e romana, realizaron investigacións en anatomía, fisioloxía e patoloxía e recoñeceron a importancia do cerebro no funcionamento do corpo e a mente.

Un dos médicos máis influentes da época foi Ibn al-Nafis, quen viviu no século XIII. Ibn al-Nafis desafiou a teoría galénica que prevalecía nese momento e propuxo que o sangue pasaba a través dos pulmóns en lugar de a través do tabique do corazón. Aínda que o seu traballo centrouse máis na circulación sanguínea, tamén mencionou a importancia do cerebro e a súa relación co sistema nervioso.

Outro médico árabe destacado foi Ibn Sina, tamén coñecido como Avicena, quen viviu no século XI. Avicena foi autor da obra mestra *El canon de la medicina*, que se converteu nun texto fundamental durante séculos. Na súa obra, Avicena discutiu a anatomía e a función do cerebro, describindo as estruturas cerebrais e a súa relación coas facultades cognitivas e sensoriais. Ademais, os árabes tamén realizaron contribucións no campo da oftalmoloxía, que estaba estreitamente relacionado co estudo do cerebro. Investigaron a conexión entre a visión e o cerebro e recoñeceron a importancia da corteza visual na interpretación dos estímulos visuais.

A Revolución Científica que tivo lugar entre os séculos XVI e XVIII foi un período de gran avance e transformación no ámbito científico. Durante este tempo, producíronse importantes cambios na forma en que se entendía e se investigaba o mundo natural, incluíndo o estudo do cerebro humano. Esta época foi impulsada polo pensamento crítico, a observación sistemática e o método científico. Os estudosos adoptaron unha actitude máis empírica e afastáronse da tradición e a especulación filosófica e, en lugar de depender unicamente de teorías e autoridades antigas, confiaron na experimentación para comprender os fenómenos naturais.

No contexto do estudo do cerebro humano, a Revolución Científica trouxo consigo novos enfoques e métodos de investigación. Os científicos utilizaron a disección anatómica e a observación directa para comprender a estrutura e función do cerebro humano. Este enfoque máis práctico e baseado na evidencia permitiu un maior avance no seu coñecemento.

No século XVI, Andrés Vesalio publica o seu *De humani corporis fabrica*, unha obra capital que representa un punto e aparte no estudo da anatomía humana e, por tanto, do cerebro. Esta extensa obra (nada menos que dez tomos) sentou as bases da anatomía cerebral moderna. Con todo, ata o século XVII a investigación do cerebro non deu un gran salto adiante cos traballos pioneiros de científicos como René Descartes e Thomas Willis. Descartes propuxo a teoría do dualismo mente-corpo, suxerindo que a mente e o cerebro eran entidades separadas pero interconectadas. Willis, pola súa banda, realizou estudos detallados sobre a anatomía e a función do cerebro, identificando importantes estruturas e establecendo as bases da neuroanatomía moderna. Ademais, neste século, a invención do microscopio por Antonie van Leeuwenhoek permitiu aos científicos cambiar de forma extraordinaria a escala das súas observacións, que ata o momento eran macroscópicas, e estudar as células e tecidos

cerebrais con detalle sen precedente. Isto conduciu a importantes descubrimentos na estrutura e función do cerebro, sentando as bases da neuroanatomía moderna e pavimentando o camiño que anos despois transitaría un dos maiores xenios da historia da ciencia, don Santiago Ramón e Cajal, a quen nos referiremos máis adiante.

Xa no século XVIII, Giambattista Morgagni, autor do primeiro libro de anatomía patolóxica, propuxo á comunidade científica unha idea extraordinaria ao relacionar, por primeira vez, as enfermidades con alteracións da anatomía normal; por exemplo, afirmou que a apoplexía estaba causada por lesións nos vasos cerebrais. No século XVIII, os avances na Física e a Química tamén influíron no estudo do sistema nervioso. Por exemplo, a electricidade e os fenómenos electromagnéticos captaron a atención dos científicos, que comezaron a explorar as bases eléctricas da actividade cerebral. Experimentos como os de Luigi Galvani sobre a estimulación eléctrica dos músculos sentaron as bases para unha comprensión máis profunda da actividade eléctrica do cerebro, o que, a partir do século XX, rendería achados extraordinarios para coñecer o funcionamento íntimo das neuronas e os circuítos dos que forman parte, abrindo un gran futuro para entender procesos fundamentais como a comunicación interneuronal, as bases de múltiples patoloxías e a plasticidade cerebral, substrato da memoria, a aprendizaxe e a neurorrehabilitación.

O século XIX foi testemuña de importantes avances no estudo do cerebro humano. O desenvolvemento de técnicas de tintura permitiu a científicos como Camillo Golgi e Santiago Ramón e Cajal examinar cortes de tecido nervioso, analizar a súa estrutura íntima e comprender que está composto por células individuais que se comunican entre si. Cajal foi o gran artífice deste e outros descubrimentos seminais que despois comentaremos á hora de falar do xenio de Petilla de Aragón.

A medida que nos adentramos no século XX, o estudo do cerebro humano beneficiouse enormemente dos avances tecnolóxicos. Desde o rexistro do electroencefalograma por Hans Berger en 1924, que permitiu a medición dos sinais eléctricos xerados polo cerebro, abrindo a porta ao estudo das ondas cerebrais e a actividade eléctrica que se beneficiaría, ata os nosos días grazas aos xigantescos saltos en materias como a electrónica e a computación.

Nas décadas seguintes, a investigación do cerebro viuse impulsada polo desenvolvemento de técnicas de neuroimaxe, como a tomografía computarizada e a resonancia magnética. Estas técnicas impulsaron avances crave na medicina, contribuindo a salvar millóns de vidas e permitindo aos investigadores observar o cerebro en vivo e mapear rexións específicas involucradas en funcións cognitivas, emocionais e motoras (para unha revisión sobre estudo do cerebro ao longo da historia consultar Duque-Parra 2001; Blanco 2014).

CAJAL E A ORIXE DA MODERNA NEUROCIENCIA

Santiago Ramón e Cajal, considerado o pai da neurociencia moderna, foi un destacado científico español que revolucionou a nosa comprensión do sistema nervioso. A través das súas investigacións, demostrou a existencia de células nerviosas individuais, coñecidas desde moi pouco despois como “neuronas”, sentou as bases da organización xeral do cerebro e con iso abriu a porta ao estudo sistemático da función cerebral. A importancia de Cajal na neurociencia moderna radica na súa contribución fundamental en tres áreas principais: a utilización e perfeccionamento da tintura de Golgi (e desenvolvemento posterior doutras técnicas histolóxicas complementarias), a teoría da neurona e a formulación de principios básicos da plasticidade cerebral.

1. En primeiro lugar, Cajal empregou con maestría e perfeccionou a técnica de tinctura de Golgi, que permitía visualizar as neuronas de maneira detallada baixo o microscopio. Esta caprichosa técnica, que implica a impregnación das células nerviosas con sales de prata, proporcionou imaxes claras das estruturas neuronais, como o soma, as dendritas, as espiñas dendríticas e os axóns. Grazas a esta técnica, Cajal puido describir e debuxar as complexas conexións e ramificacións das neuronas, o que nos permitiu comprender a organización e a arquitectura do cerebro dunha maneira sen precedentes. Aquí é onde Cajal demostra a súa xenialidade. Mediante as imaxes estáticas observadas a través dun microscópico monocular moi rudimentario, foi capaz de concibir un cerebro en movemento. Atopou lóxica vivente nas células e fibras nerviosas que observaba, predicindo como se comportarían in vivo as estruturas que estudaba e de onde e cara a onde fluía a información. A súa técnica mellorada da tinctura de Golgi (1888) converteuse nunha ferramenta fundamental na investigación neurocientífica en todo o mundo.
2. En segundo lugar, o que coñecemos como “teoría da neurona” demostrada por Cajal (1888) foi unha idea revolucionaria que cambiou a forma en que comprendemos o sistema nervioso. Antes das súas investigacións, prevalecía a crenza defendida por Golgi (e a práctica totalidade de investigadores da súa época, que eran reticularistas) de que o tecido nervioso era un armazón continuo (unha rede) e non estaba formado por células individuais. Con todo, Cajal, co seu minucioso traballo microscópico, demostrou que o sistema nervioso está composto por células separadas e individualmente funcionais, as neuronas, e describiu como se conectan entre si a través dos espazos que hoxe coñecemos como sinapses. Ademais e como complemento indisoluble da “teoría neuronal”, Cajal enunciou a denominada “lei de polarización

dinámica das neuronas” (1892-1895), na que, estudando cerebros fixados (e por tanto estáticos, mortos), desentrañou a dirección en que os impulsos nerviosos debían orientarse, o que marcou coas famosas frechas dos seus debuxos. Deu así un contido funcional ás súas observacións sobre conexións estruturais: esas frechas explicaban moitas das funcións que se observan na fisioloxía cerebral. Con estes avances cruciais, Cajal sentou as bases para a neurociencia moderna e permitiunos entender como se transmiten os impulsos eléctricos e os sinais químicos a través destas células, abrindo o camiño ao estudo sistemático das funcións e disfuncións cerebrais.

3. En terceiro lugar, Cajal foi pioneiro na formulación de principios básicos da plasticidade cerebral (1895). Observou que as conexións entre as neuronas poden modificarse ao longo do tempo en resposta á experiencia e a aprendizaxe. Esta idea desafiou a concepción predominante de que o cerebro adulto era estático e inmutable. Cajal definiuno, pola contra, como un órgano dinámico que pode reorganizarse e adaptarse, idea que hoxe coñecemos como plasticidade cerebral. As súas investigacións sentaron as bases para futuros estudos sobre a capacidade do cerebro para cambiar en resposta a estímulos ambientais, lesións e enfermidades.

En resumo, a importancia de Santiago Ramón e Cajal na neurociencia moderna é inmensa. As súas contribucións na teoría da neurona, a lei de polarización dinámica das neuronas, o desenvolvemento cerebral e a formulación de principios de plasticidade cerebral foron fundamentais para o entendemento actual do sistema nervioso. Cajal non só estableceu as bases para o estudo da estrutura e función do cerebro senón que tamén sentou as bases para o desenvolvemento posterior de moitas outras áreas de investigación. Non cabe dúbida de que sen o seu enorme traballo e sen as achegas dos máis destacados

membros da escola que creou, a neurociencia actual non sería a mesma (para entender mellor a obra de Cajal, a súa escola e o seu legado ver: de Castro et al. 2007; Fuster 2007; Swanson e Lichtman 2016; de Castro 2019; Nombela et al. 2021).

Este ano celebramos o 150^o aniversario do nacemento de don Santiago. Sirvan estas letras e o espírito desta exposición, como homenaxe ao mestre e pai da neurociencia que axuntou á grandeza científica da súa obra, a non menos gran calidade artística dos seus debuxos que marabillaron ao mundo (de Castro, 2021). En palabras de Fernando de Castro (1896-1967), un dos seus discípulos máis destacados, “cos debuxos de Cajal, a Ciencia convértese en Arte” (De Felipe, 2006).

IMPORTANCIA DA NEUROCIENCIA

O labiríntico cerebro humano, coa súa complexidade e misterio, foi obxecto de fascinación durante séculos. Con todo, só nas últimas décadas comezamos a desentrañar os seus segredos a través dos avances na neurociencia, unha disciplina que combina a bioloxía, a psicoloxía, a química, a física, a enxeñería e outras áreas de coñecemento para estudar a estrutura, función e desenvolvemento do sistema nervioso. A través de técnicas de vangarda como a neuroanatomía, a neuroimaxe, a electrofisioloxía e a xenética, os neurocientíficos puideron investigar as bases neuronais dos procesos mentais e cognitivos, así como as enfermidades neurolóxicas e psiquiátricas.

A neurociencia, como campo de estudo que se centra no funcionamento do sistema nervioso coa aspiración última de entender o cerebro humano, desempeña un papel fundamental na nosa comprensión do mundo. A través do seu enfoque científico e multidisciplinar, a neurociencia bríndanos unha visión única e profunda dos procesos cognitivos, emocionais e condutuais que dan forma a nosa experiencia

e comportamento. Proporciónanos unha base sólida para comprender os aspectos máis fundamentais da nosa existencia, como a natureza da mente, a conciencia e o libre albedrío. Durante séculos, filósofos e pensadores debateron sobre a relación entre a mente e o corpo, cuestionando se a mente é simplemente unha manifestación do funcionamento cerebral ou se existe como unha entidade separada. A neurociencia permitiunos abordar esta pregunta desde unha perspectiva científica, ao investigar as conexións entre a actividade cerebral e os procesos mentais. Mediante técnicas como a neuroimaxe e o rexistro da actividade neuronal, os neurocientíficos puideron identificar correlatos neurais de diferentes estados mentais e cognitivos, proporcionando evidencia empírica que apoia a idea de que a mente é produto do cerebro. Esta comprensión ten implicacións profundas na nosa concepción da identidade, a conciencia e a responsabilidade persoal (para unha revisión sobre a historia da neurociencia, a súa importancia e o seu futuro, consultar Blanco 2014; Morris et al. 2016; Altimus et al. 2020).

Ademais de abordar a natureza da mente, a neurociencia tamén é esencial para a nosa comprensión da percepción e a construción da realidade. A través do estudo da percepción sensorial, os neurocientíficos revelaron como os sentidos recompilan información da contorna e como o cerebro procesa e organiza esa información para construír a nosa experiencia consciente. A neurociencia desentrañou os mecanismos neuronais detrás da visión, o oído, o tacto e outros sentidos, revelando como os factores internos e externos poden influír nas nosas percepcións. Estes achados axúdannos a comprender como percibimos o mundo de maneira subxectiva e como a nosa realidade pode diferir da realidade obxectiva. Ademais, a neurociencia tamén investigou fenómenos como a atención, a memoria e a toma de decisións, proporcionando unha comprensión máis profunda de como procesamos e utilizamos a información que recibimos.

A neurociencia realizou importantes contribucións no estudo e comprensión das enfermidades neurolóxicas e psiquiátricas. A través de diversas investigacións e avances científicos, proporcionou información crucial sobre as causas, os mecanismos subxacentes e as posibles estratexias de tratamento para estas enfermidades. Algúns exemplos senlleiros son os seguintes:

1. Enfermidades neurolóxicas e trastornos psiquiátricos: a neurociencia desempeñou un papel fundamental na comprensión de enfermidades neurolóxicas como o alzhéimer, o párkinson e a esclerose múltiple, entre outras. Mediante técnicas avanzadas de imaxe cerebral, como a resonancia magnética funcional (fMRI) e a tomografía por emisión de positróns (PET), os investigadores identificaron cambios estruturais e funcionais no cerebro dos pacientes con estas enfermidades. Estes achados permitiron un diagnóstico máis preciso e cedo, así como a identificación de posibles biomarcadores que poden axudar a controlar a progresión da enfermidade e avaliar a eficacia dos tratamentos (Waxman 2005).

De igual maneira, a neurociencia ampliou a nosa comprensión de trastornos psiquiátricos como a depresión, a ansiedade, o trastorno bipolar e a esquizofrenia (Ross et al. 2015; Travis 2019). A través de estudos de neuroimaxe (Hendler et al. 2009), identificáronse diferenzas na estrutura cerebral, a conectividade funcional e a actividade neuronal en individuos con estes trastornos. Estes achados axudaron a desterrar a noción de que os trastornos psiquiátricos son simplemente problemas de “mente” e demostraron que tamén teñen bases biolóxicas e neuroquímicas. Ademais, contribuíu ao desenvolvemento de novos enfoques terapéuticos enfocados tanto á neuroloxía como á psiquiatría, algúns invasivos, como a estimulación cerebral profunda mediante eléctrodos implantados no cerebro ou me-

diante ultrasóns focalizados, e outros non invasivos, como a neuromodulación (estimulación magnética transcraneal ou estimulación mediante corrente), que demostraron ser de gran utilidade para entender o funcionamento do sistema nervioso e para o tratamento de patoloxías refractarias ás abordaxes máis habituais, como o párkinson, o tremor esencial, a depresión ou o trastorno obsesivo compulsivo (Rossi et al. 2021; Baek et al. 2022; Neumann et al. 2023; Sheth et al. 2023).

2. Plasticidade cerebral e rehabilitación: a neurociencia revelou a notable capacidade do cerebro para a adaptación e para a reorganización neuronal. Isto tivo importantes implicacións na rehabilitación de pacientes con dano cerebral, como naqueles que sufriron un accidente cerebrovascular ou unha lesión traumática. Os estudos demostraron que o cerebro pode reatribuír funcións a áreas non danadas e establecer novas conexións neuronais en resposta á terapia e a rehabilitación. Estes achados levaron ao desenvolvemento de enfoques de rehabilitación máis efectivos e personalizados que aproveitan a plasticidade cerebral para maximizar a recuperación e mellorar a calidade de vida dos pacientes (Khan et al. 2016; Ferrazzoli et al. 2022).
3. Farmacoloxía e desenvolvemento de medicamentos: a neurociencia foi fundamental no desenvolvemento de medicamentos para o tratamento de enfermidades neurolóxicas e psiquiátricas (Trist et al. 2014; Yeung et al. 2018). Os avances na comprensión dos mecanismos de acción dos fármacos e as interaccións entre os neurotransmisores permitiron o desenvolvemento de tratamentos máis específicos e efectivos. Así mesmo, a neurociencia contribuíu ao descubrimento de novos brancos terapéuticos e facilitou a avaliación da eficacia e seguridade dos medicamentos mediante estudos clínicos e preclínicos.

4. Outro ámbito no que a neurociencia é crucial é a tecnoloxía (Cometa et al. 2022). A comprensión dos principios fundamentais do cerebro humano bríndanos a oportunidade de desenvolver novas tecnoloxías bio-inspiradas. A neuroenxeñaría, por exemplo, busca aplicar os coñecementos neurocientíficos para deseñar sistemas e dispositivos que poidan interactuar co cerebro de maneira segura e efectiva. Estes avances na neurotecnoloxía levaron ao desenvolvemento de próteses biónicas controladas pola mente, interfaces cerebro-computadora para axudar a persoas con discapacidades e dispositivos de neuroestimulación para tratar trastornos neuropsiquiátricos. Ao mesmo tempo, a neurociencia tamén contribuíu ao campo da intelixencia artificial (Yan et al. 2023), permitindo o desenvolvemento de algoritmos e redes neurais artificiais inspiradas no cerebro humano, o que supuxo avances significativos en múltiples campos como a abordaxe de enfermidades neurodexenerativas, recoñecemento de voz, procesamento da linguaxe natural e visión por computadora (Cudeiro et al. 2019).
5. A educación é outro terreo no que a neurociencia pode desempeñar un papel transformador no futuro da humanidade (Dubinsky et al. 2019). Comprender como aprende o cerebro pode axudarnos a desenvolver métodos de ensino máis efectivos e adaptados ás necesidades individuais dos estudantes. A neurociencia cognitiva revelou que o cerebro humano ten unha gran plasticidade e capacidade para a aprendizaxe ao longo de toda a vida. Isto implica que os métodos educativos deben centrarse na estimulación das capacidades cognitivas e emocionais dos estudantes, así como na promoción dunha contorna enriquecedora que favoreza o desenvolvemento cerebral óptimo. A integración dos achados neurocientíficos na práctica educativa contribúe a incrementar a retención de información, fomentar a creatividade e mellorar a calidade da educación en xeral.

LABIRINTOS PARA MELLORAR O CEREBRO

Os labirintos, do mesmo xeito que os quebracabezas ou a realidade virtual, demostraron ser beneficiosos para estimular e mellorar as funcións cognitivas e motoras (Clemenson e Stark, 2015; Wais et al. 2021) e ofrecen posibilidades de axuda no tratamento de diversas enfermidades e trastornos do sistema nervioso. Os labirintos son complexas tarefas visomotoras de planificación e resolución de problemas que requiren atopar un camiño desde o principio ata o final o máis rapidamente posible. Os labirintos non son verbais, son fáciles de entender e utilizar, relativamente independentes do nivel educativo e adecuados para unha ampla gama de adultos maiores e persoas con deterioración cognitiva. As tarefas de labirinto requiren unha interacción entre os procesos cognitivos e motores e son similares ás actividades cotiás complicadas que requiren planificación e resolución de problemas. A resolución de labirintos require múltiples procesos cognitivos que inclúen a función atencional, visoespacial e executiva (planificación, previsión e resolución de problemas), así como a función visomotora (para unha revisión recente, ver Nef et al. 2020).

Ata agora, as probas de labirinto utilizáronse nalgúns estudos para avaliar o funcionamento cognitivo e motor e demostraron sensibilidade para diferenciar o envellecemento normal saudable da deterioración cognitiva leve, a demencia de alzhéimer e a enfermidade de párkinson. Ademais, os rendementos obtidos ao resolver labirintos mostráronse como un sólido vaticinador da capacidade de funcionamento diario en adultos maiores (Nef et al. 2020).

Unha das áreas nas que os labirintos mostraron a súa utilidade é na rehabilitación de pacientes con lesións cerebrais traumáticas (Nobre de Paula et al. 2017; Massetti et al. 2018). Estas lesións poden afectar a función motora, a memoria, a atención e outras habilidades cognitivas. Os labirintos proporcionan unha contorna segura e estruturada

para que os pacientes practiquen habilidades motoras e cognitivas, mellorando a coordinación, o equilibrio e a planificación.

Así mesmo, os labirintos, quebracabezas e a realidade virtual tamén se utilizaron no tratamento de enfermidades neurodexenerativas, como as demencias (Devanand et al. 2022; Petrella et al. 2023) e a enfermidade de párkinson (Marotta et al. 2022) con resultados aínda inconclusos, pero prometedores. Estas condicións caracterízanse pola perda progresiva de funcións cognitivas e motoras. Os labirintos ofrecen unha contorna estimulante que pode axudar a manter e mellorar a función cognitiva, a memoria e a mobilidade dos pacientes.

Ademais, os labirintos atraeron a atención dos especialistas sobre determinados trastornos neuropsiquiátricos, como o trastorno do espectro autista (TEA) (Evasari et al. 2017; Shaughnessy 2022) e o trastorno por déficit de atención e hiperactividade (TDAH) (<https://scopepsych.com.au/adhd/adhd-treatment-the-effectiveness-of-finger-labyrinths/>; <https://www.relax4life.com/labyrinth-articles/>). Estas condicións caracterízanse por dificultades no procesamento sensorial, a atención e a regulación emocional. Os labirintos poderían proporcionar estímulos sensoriais e desafíos cognitivos para axudar a mellorar a integración sensorial, a concentración e a autorregulación emocional. As ideas a este respecto son moi interesantes, pero claramente queda un longo percorrido para consolidar os achados preliminares.

É importante destacar que os labirintos como terapia deben ser deseñados e supervisados por profesionais da saúde especializados. Cada paciente require un enfoque individualizado e adaptado ás súas necesidades e capacidades. Os labirintos terapéuticos poden variar en complexidade, tamaño e deseño para adaptarse ás habilidades e metas específicas de cada individuo.

MAPAS CEREBRAIS PARA RESOLVER LABIRINTOS

Tanto se vostede atópase nun gran centro comercial coma se penetrou nos labirínticos xardíns de Versalles, necesitará saír en determinado momento. Para iso non quedará máis remedio que utilizar as fantásticas posibilidades que lle ofrece o seu cerebro. O primeiro ao que botará man é á información sensorial. Quizá a visión sexa a máis relevante; ollará o horizonte e tentará buscar pistas visuais que lle permitan orientarse e buscar unha saída. Pero non debemos menosprezar outros sentidos, como pode ser a audición: unha música ou o canto dun paxaro poden ser referencias; o tacto, mediante o que recoñecemos as características do chan que pisamos e ata o olfacto, porque nos parece lembrar que chegaba un cheiro a garapiñadas recentemente feitas desde a esquerda. Como xa imaxina, tamén necesita a memoria, porque aí poden estar almacenados os pequenos detalles que lle permitan tomar decisións e cos que contrastar a información sensorial que está a recibir. Pero, ademais, conta coa axuda inestimable de varios tipos de neuronas que se localizan no lóbulo temporal, máis ou menos encima das orellas, e que forman parte de dúas estruturas cerebrais coñecidas como hipocampo e cortiza entorrinal. Estas partes do cerebro son fundamentais para a memoria, pois permiten establecer a propia localización no espazo coma se fora un GPS. A investigación sobre o seu funcionamento valeu un premio Nobel no ano 2014. Imos ver como foi.

O traballo do científico estadounidense John Ou'Keefe foi fundamental no campo da neurociencia, especialmente no que respecta ao sistema de navegación do cerebro. A súa investigación revolucionaria sobre as “células de lugar” (*place cells*, en inglés) no hipocampo proporcionou unha comprensión profunda de como o cerebro codifica e representa o espazo e a localización espacial. Na década de 1970, Ou'Keefe

e o seu equipo levaron a cabo experimentos utilizando ratas para investigar como o sistema nervioso procesa a información espacial. Descubriron que certas neuronas no hipocampo das ratas activábanse de maneira específica cando os animais atopábanse en lugares particulares da contorna. Estas células de lugar mostraban patróns de actividade distintivos que correspondían a localizacións espaciais concretas. Estaban a sinalar en que parte do espazo, da habitación ou, no noso caso, do centro comercial ou dos xardíns de Versalles, estamos localizados; permiten crear e manter unha representación mental da contorna, o que proporciona a base para a navegación espacial e a memoria de lugares. (<https://www.nobelprize.org/prizes/medicine/2014/summary/>).

Posteriormente, dous científicos noruegueses, o matrimonio May-Britt e Edvard I. Moser, realizaron uns achados moi interesantes que completaban perfectamente os de Ou'Keefe. Os Moser son recoñecidos polo seu descubrimento das “células de rede” (*grid cells*), un tipo de neurona que desempeña un papel crucial na navegación espacial. Estas células de reixa, situadas na contorna do hipocampo e a cortiza entorrinal, teñen unha actividade neuronal que permite delimitar zonas do espazo cunha estrutura hexagonal. Isto capacita ao cerebro para crear e lembrar unha especie de mapa interno que nos axuda a navegar, orientarnos na contorna e coñecer os bordos do espazo polo que nos movemos. E non só iso: debido ás características especiais doutras células, tamén podemos estimar a dirección e a velocidade do movemento cando nos desprazamos a través dos nosos mapas espaciais.

O traballo destes autores non só contribuíu de forma importante á nosa comprensión da función cerebral, senón que tamén tivo un impacto importante en diversos campos. Estes son, en resumo, algúns aspectos destacados da importancia do seu traballo:

1. Entendemento da cognición espacial: proporcionou unha base sólida para comprender como o cerebro codifica e representa o espazo. O descubrimento das células de lugar e de reixa permitiu avances significativos no campo da cognición espacial e a navegación.
2. Aplicacións en robótica e intelixencia artificial: o estudo do sistema de navegación do cerebro influíu no desenvolvemento de algoritmos e modelos utilizados en robótica e sistemas de navegación autónoma. Os principios de codificación espacial foron aplicados no deseño de robots que poden mapear e navegar contornas descoñecidas.
3. Implicacións para a investigación de enfermidades cerebrais: a comprensión de como o cerebro codifica e representa a información espacial é relevante para o estudo de trastornos neurolóxicos e psiquiátricos relacionados coa memoria espacial, como as enfermidades de alzhéimer e de párkinson. Os achados de Ou'Keefe e o matrimonio Moser proporcionaron unha base para investigar posibles disfuncións no sistema de navegación do cerebro nestas enfermidades.

OS LABIRINTOS E OS VIDEOXOGOS AO RESCATE. SEA HERO QUEST, UN XOGO PARA MELLORAR

Nesta exposición ofrécese información sobre o que foi o estudo máis grande da historia no que participou a cidadanía: *Sea Hero Quest*.

Trátase dun proxecto dirixido orixinalmente por Deutsche Telecom, xunto con Glitchers, UCL, UEA e Alzheimer's Research UK. O proxecto púxose en marcha para axudar aos científicos para comprender as

capacidades de navegación espacial ao longo da vida e recoller información en masa que lles axudase a comprender mellor o que ocorre nas demencias, como a enfermidade de alzhéimer, onde as dificultades de orientación son moi características. Estes datos poderían, ademais, contribuír ao diagnóstico precoz da enfermidade. *Sea Hero Quest*, dispoñible para o público a través do móbil e en realidade virtual, foi o primeiro xogo de masas que permitiu aos cidadáns participar nunha investigación científica a tan gran escala.

No xogo temos que trazar constantemente rutas de navegación que nos permitan chegar ao noso destino. A información obtida das rutas que establecen os xogadores sumada aos seus datos epidemiolóxicos e sociolóxicos (idade, raza, condición socioeconómica, etc.) é analizada polos científicos, quen logrou identificar patróns que resultaron moi útiles para entender as estratexias de navegación espacial e os cambios co envellecemento. Desde o seu lanzamento en 2016, máis de catro millóns de persoas de todo o mundo xogaron ao *Sea Hero Quest*, o que proporcionou aos científicos datos que a investigación tradicional da demencia tardaría séculos en recompilar.

A partir dos datos, as primeiras conclusións demostraron que as capacidades de navegación espacial empezan a diminuír a partir dos 19 anos e que existen diferenzas fundamentais nas estratexias espaciais de navegación entre homes e mulleres. Os homes obtiveron mellores resultados que as mulleres, pero a diferenza entre ambos os sexos reduciuse nos países con maior igualdade de xénero.

Máis aínda, nun artigo que apareceu no ano 2019, un equipo de científicos utilizando os datos obtidos no xogo, estudou os resultados das persoas xeneticamente predispostas a padecer alzhéimer, en comparación coas que non o eran. Os resultados, publicados na revista *PNAS* (Coughlan et al. 2019), mostran que as persoas con risco xenético de desenvolver alzhéimer poden distinguirse das

que non o están en determinados niveis do xogo *Sea Hero Quest*. Os datos son moi relevantes porque, como nos lembra o profesor Michael Hornberger, investigador principal do estudo, desde hoxe ata 2050 a demencia afectará a 135 millóns de persoas en todo o mundo e é necesario identificar canto antes aos afectados para iniciar intervencións precoces e reducir o seu risco de desenvolver demencia (<https://www.eurekalert.org/news-releases/757471>).

OS LABIRINTOS E A VIDA

Julio Cortázar escribe en *Rayuela*, novela extraordinaria e labirinto cambiante á elección do lector, que “o mundo non existe, hai que crealo, como a ave fénix”. Non se podería conxugar mellor nunha frase a esencia do cerebro como construtor da realidade que habitamos e arquitecto do que somos. Algo parecido ocorre cos labirintos, que son, como non, creacións da nosa mente e reflicten ben o intricado do pensamento. Os labirintos, que nacen como un exercicio intelectual para deter ao Minotauro, reflicten o complexo do espírito humano, os infinitos camiños do pensamento, a observación, a toma de decisións... E, en fin, son metáfora da procura continua á que nos conduce a existencia.

Nesta exposición, ofrecemos unha información rigorosa á vez que entretida para todos aqueles que queiran penetrarse no coñecemento do cerebro e dos labirintos e conseguir unha perspectiva moi nova de como interaccionan entre si. Quen a visiten poderán resolver labirintos á vez que entenderán o que fai o seu cerebro para iso e experimentar como un pasatempo tan entretido pode ser moi beneficioso para as súas neuronas. Probablemente, ao final, resolverán un labirinto que se expón como parte da vida, que non é outro que : onde imos? Descubrirán, con Juan Ramón Jiménez, que a resposta é tan simple como labiríntica. Isto é o que nos di o poeta: “*Non corras, vai amodo, que onde tes que ir é a ti só!*”.

BIBLIOGRAFÍA

Altimus CM, Marlin BJ, Charalambakis NE, Colón-Rodríguez A, Glover EJ, Izbicki P, Johnson A, Lourenco MV, Makinson RA, McQuail J, Obeso I, Padilla-Coreano N, Wells MF, for Training Advisory Committee. *The Next 50 Years of Neuroscience*. J. Neurosci. 2020; 40(1): 101–106.

Baek H, Lockwood D, Mason EJ, Obusez E, Poturalski M, Rammo R, Nagel SJ, Jones SE. *Clinical Intervention Using Focused Ultrasound (FUS) Stimulation of the Brain in Diverse Neurological Disorders*. *Frontiers in Neurol.* 2022; 13, 880814.

Blanco, C. Historia de la neurociencia. *El conocimiento del cerebro y la mente desde una perspectiva interdisciplinar*. Editorial Biblioteca Nova, S.L. (Colección Fronteras), 2014.

Clemenson GD, Stark CEL. *Virtual Environmental Enrichment through Video Games Improves Hippocampal-Associated Memory*. J. Neurosci. 2015; 35(49): 16116 –16125.

Cometa A, Falasconi A, Biasizzo M, Carpaneto J, Horn A, Mazzoni A, Micera S. *Clinical neuroscience and neurotechnology: An amazing symbiosis*. iScience 2022; 25:105124.

Coughlan G, Coutrot A, Khondoker M, Minihane AM, Spiers H, Hornberger M. *Toward personalized cognitive diagnostics of at-genetic-risk Alzheimer's disease*. Proc Natl Acad Sci U S A 2019; 116(19): 9285–9292.

Cudeiro D, Bolkart T, Laidlaw C, Ranjan A, Black M. *Capture, Learning, and Synthesis of 3D Speaking Styles*. Proceedings IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR) 2019; 0101-10111.

de Castro F, López-Mascaraque L, de Carlos JA. Cajal: *Lessons on brain development*. Brain Res. Rev. 2007; 55:481–489.

de Castro F. Cajal and the Spanish Neurological School: *Neuroscience Would Have Been a Different Story Without Them*. Front. Cell. Neurosci. 2019; 13:187.

de Castro F. *El Arte que alumbró la moderna neurociencia: El dibujo científico de Cajal y sus discípulos*. Kranion 2021;16: 146-58

de Felipe J. *Cajal y sus dibujos: ciencia y arte*. Boletín SEBBM 2006; 148:16-33.

Devanand DP, Goldberg TE, Qian M, Rushia SN, Sneed JR, Andrews HF, Nino I, Phillips J, Pence ST, Linares AR, Hellegers CA, Michael AM, Kerner NA, Petrella JR, Doraiswamy PM. *Computerized Games versus Crosswords Training in Mild Cognitive Impairment*. NEJM Evid 2022; 1 (12).

Duque - Parra JE. *Elementos neuroanatómicos y neurológicos asociados con el cerebro a través del tiempo*. Rev. Neurol. 2002; 34: 282-6.

Dubinsky JM, Guzey SS, Schwartz MS, Roehrig G, MacNabb C, Schmied A, Hinesley V, Hoelscher M, Michlin M, Schmitt L, Ellingson C, Chang Z, Cooper JL. *Contributions of Neuroscience Knowledge to Teachers and Their Practice*. The Neuroscientist 2019; 25(5): 394-407.

Evasary H, Maulidia Y, Crisantimum Chaerunnisa PG. *The Effectiveness of Labyrinth Game in Improving Interpersonal Intelligence of Children with Autism*. Advances in Social Science, Education and Humanities Research 2017; 128: 199-202.

Ferrazzoli D, Ortelli P, Iansek R, Volpe D. *Rehabilitation in movement disorders: From basic mechanisms to clinical strategies*. Handbook Clin. Neurol. 2022; 184: 341-355.

Fuster JM. *Cajal y la neurociencia cognitiva cien años más tarde*. Quark 2007; 39-40: 59-65.

Hendler T, Bleich-Cohen M, Sharon H. *Neurofunctional view of psychiatry: clinical brain imaging revisited*. Current Opinion in Psychiatry 2009; 22:300-305.

Khan F, Amatya B, Galea MP, Gonzenbach R, Kesselring J. *Neurorehabilitation: applied neuroplasticity*. J Neurol. 2017; 264(3): 603-615.

Marotta N, Calafiore D, Curci C, Lippi L, Ammendolia V, Ferraro F, Invernizzi M, de Sire A. *Integrating virtual reality and exergaming in cognitive rehabilitation of patients with parkinson disease: a systematic review of randomized controlled trials*. European Journal of Physical and Rehabilitation Medicine 2022; 58(6): 818-26.

Morris RGM, Oertel W, Gaebel W, Goodwin GM, Little A, Montellano P, Westphal M, Nutt DJ, Di Luca M. *Consensus Statement on European Brain Research: the need to expand brain research in Europe*, 2015. European J. Neurosci. 2016; 44: 1919–1926.

Massetti T, Dias da Silva T, Brusque Crocetta T, Regiani Guarnieri R, Leal de Freitas B, Bianchi Lopes P, Watson S, Tonks J, Bandeira de Mello Monteiro C. *The Clinical Utility of Virtual Reality in Neurorehabilitation: A Systematic Review*. Journal of Central Nervous System Disease 2018; 10: 1–18.

Nef T, Chesham A, Schütz N, Botros AA, Vanbellingen T, Burgunder J-M, Müllner J, Müri RM and Urwyler P. *Development and Evaluation of Maze-Like Puzzle Games to Assess Cognitive and Motor Function in Aging and Neurodegenerative Diseases*. Front. Aging Neurosci. 2020; 12:87.

Neumann W-J, Horn A, Kühn AA. *Insights and opportunities for deep brain stimulation as a brain circuit intervention*. Trends in Neurosci. 2023; 46(6): 472-487.

Nobre de Paula J, Bandeira de Mello Monteiro C, Dias da Silva T, MilianiCapelini C, Del Cielo de Menezes L, Massetti T, Tonks J, Watson S, Nicolai Ré AH. *Motor performance of individuals with cerebral palsy in a virtual game using a mobile phone. Disability and rehabilitation*. Assistive technology 2017; 13(6): 1-5.

Nombela C, Fernández-Egea E, Giné E, Worbe Y, del Río-Hortega Bereciartu

J and de Castro F. *Women Neuroscientist Disciples of Pío del Río-Hortega: the Cajal School Spreads in Europe and South America*. Front. Neuroanat. 2021; 15:666938.

Petrella JR, Michael AM, Qian M, Nwosu A, Sneed, Goldberg TE, Devanand DP, Doraiswamy PM. *Impact of Computerized Cognitive Training on Default Mode Network Connectivity in Subjects at Risk for Alzheimer's Disease: A 78-week Randomized Controlled Trial*. J. Alzheimers Dis. 2023; 91(1): 483-494.

Ross D, Travis MJ, Arbuckle MR. *The Future of Psychiatry as Clinical Neuroscience Why Not Now?* JAMA Psychiatry 2015; 72(5): 413-414.

Rossi S and members of the Consensus Statement from the IFCN Workshop on “Present, Future of TMS: Safety, Ethical Guidelines”, Siena, outubro 17-20, 2018, atualizado em abril de 2020. *Safety and recommendations for TMS use in healthy subjects and patient populations, with updates on training, ethical and regulatory issues: Expert Guidelines*. Clin Neurophysiol. 2021; 132(1): 269–306.

Shaughnessy N. *Learning with labyrinths: Neurodivergent journeying towards new concepts of care and creative pedagogy through participatory community autism research*. Cristal 2022; 10 (Special Issue): 127-150.

Sheth SA, Mayberg HS. *Deep Brain Stimulation for Obsessive-Compulsive Disorder and Depression*. Annu Rev Neurosci. 2023. doi: 10.1146/annurev-neuro-110122-110434. Epub ahead of print. PMID: 37018916.

Swanson LW and Lichtman JW. *From Cajal to Connectome and Beyond* Annu. Rev. Neurosci. 2016; 39:197–216.

Travis MJ. *Neuroscience and the Future of Psychiatry*. Focus 2019; 17:30–31.

Trist DG, Cohen A, Bye A. *Clinical pharmacology in neuroscience drug discovery: quovadis?* Current Opinion in Pharmacol. 2014; 14:50–53.

Wais PE, Arioli M, Anguera-Singla R, Gazzaley A. *Virtual reality video game improves high-fidelity memory in older adults*. Scientific Reports 2021; 11:2552.

Waxman S. *From Neuroscience To Neurology Neuroscience, Molecular Medicine, and the Therapeutic Transformation of Neurology*. Academic Press, 2005.

Yan K, Li T, Lobo Marques JA, Gao J, Fong SJ. *A review on multimodal machine learning in medical diagnostics*. Mathematical Biosciences and Engineering 2023; 20(5): 8708–8726.

Yeung AWK, Tzvetkov NT, Atanasov AG. *When Neuroscience Meets Pharmacology: A Neuropharmacology Literature Analysis*. Front. Neurosci. 2018; 12:852.

<https://www.eurekalert.org/news-releases/757471>

<https://www.nobelprize.org/prizes/medicine/2014/summary/>

<https://www.relax4life.com/labyrinth-articles/>

<https://scopepsych.com.au/adhd/adhd-treatment-the-effectiveness-of-finger-labyrinths/>

<https://www.worldhistory.org/Labyrinth/>

Os labirintos do cerebro
LA EXPOSICIÓN

Miguel Barral Precedo
Coordinador de la exposición

A MODO DE PRESENTACIÓN

Os labirintos sempre fascinaron e cativaron ao ser humano. Primeiro como protagonistas de lendas, ritos e mitos, como o construído por Dédalo en Creta onde encerrou ao Minotauro que acabaría vencendo Teseo grazas á axuda de Ariadna, quen lle proporcionaría o fío para escapar do labirinto. Máis tarde, como símbolo relixioso, imaxe do tortuoso tránsito cara á salvación, nos pavimentos de igrexas e catedrais, como o gran labirinto da Catedral de Chartres (Francia), o maior da Idade Media. A partir do Renacemento, como elemento ornamental e divertimento para as clases nobres nos seus xardíns palacianos, como o denominado “Labirinto do Amor” en Villa Pisani (Italia) e, coa irrupción da ciencia, como reto matemático orixe de novas ramas como a topoloxía e a teoría de grafos. Xa no século XX, como pasatempo popular e como ferramenta para o estudo do funcionamento do cerebro, primeiro en animais e logo en humanos. Ata chegar ao momento actual, onde os labirintos non só se empregan para a investigación en neurociencia senón tamén para o diagnóstico de trastornos mentais e como terapia para o seu tratamento e rehabilitación.

É precisamente este último ámbito, o da investigación neurocientífica, o que pretende explorar este catálogo –en paralelo á exposición que recolle–. Todo iso dun modo práctico e lúdico, con labirintos que convertan ao lector en suxeito de estudo e permítanlle comprobar en primeira persoa as explicacións e elementos de información que se presentan.

XOGANDO A ESTIMULAR A MENTE

Os pasatempos de labirintos popularizáronse a principios do século XX converténdose nun clásico entretemento desde ese momento e a finais da centuria viviron un espectacular auxe coa chegada dos xogos de rol e os videoxogos nos que os labirintos se convertían en elemento fundamental da acción.

Respecto diso, numerosos estudos científicos avalan que os xogos de labirintos aumentan a estimulación cognitiva, a psicomotricidade, o pensamento abstracto e a percepción espacial en todas as idades.

A primeira revolución chegou nos 70 do pasado século cos xogos de mesa e xogos de rol de exploración de alxubes ou *dungeon crawl*. Os máis populares foron *Dungeons & Dragons*¹ de 1974 e *Hero Quest*², a partir de 1989. A seguinte revolución chegou entre os 80 e finais dos 90 cos videoxogos labirínticos bidimensionais. *Pac-Man*³ ou *Comecocos* foi o *arcade* con máis éxito de todos os tempos. *Snake*⁴ popularizouse ao introducirse pregravado nalgúns móbiles. *Wolfenstein 3D*⁵, *Doom*⁶ e *Quake*⁷ introduciron os labirintos tridimensionais para PC-consola e popularizaron as partidas multixogador onde se estimulaba a capacidade de orientación en contornas labirínticas.

1 Deseño: Gary Gygax e Dave Arneson. Compañía: Tactical Studies Rules (TRS).

2 Deseño: Stephen Baker. Compañía: Milton Bradley e Games Workshop.

3 Deseño: Tōru Iwatani. Compañía: Namco e Midway Games.

4 Deseño: Taneli Armanto. Compañía: Nokia.

5 Deseño: Alfonso John Romero e Tom Hall. Compañía: ide Software.

6 Deseño: Alfonso John Romero, Tom Hall e John Carmack. Compañía: ide Software.

7 Deseño: Alfonso John Romero e John Carmack. Compañía: ide Software.

O lado negativo é a violencia que caracteriza a algúns deles, que pode chegar a potenciar condutas agresivas nalgúns adolescentes con problemas de base. O beneficio prodúcese sempre que non sexa a única vía de expansión lúdica, se compaxine con relacións sociais reais, exista un control dos tempos de exposición, respéctese a idade recomendada e non exista algún tipo de patoloxía ou problema mental previo.

COMO NOS ENFRONTAMOS A UN LABIRINTO?

A nosa habilidade para resolver e/ou navegar por un labirinto baséase na nosa capacidade para percibir os sinais da contorna a través dos sentidos –sobre todo a vista– e na capacidade do noso cerebro para procesar, almacenar esta información e integrala con outras xa rexistradas no noso “disco ríxido” cerebral.

En síntese, grazas á combinación de información sensorial –principalmente visual– e memoria. Se algunha das dúas falla, está minguada ou comprometida (noutra tarefa), a nosa habilidade para enfrontarnos a un labirinto veríase seriamente diminuída.

Por exemplo, a ausencia de referencias visuais condiciona e dificulta a nosa capacidade para orientarnos nun labirinto. Por iso é máis fácil perderse ou desorientarse pola noite, sobre todo en contornas rurais ou na natureza. E tamén por iso os nosos devanceiros preferían desprazarse e buscar alimento durante o día e resgardarse ao caer a escuridade.

PROCESO (DO LATÍN *PROCESSUS*):

1. M. ACCIÓN DE IR CARA ADIANTE

Xa vimos que á hora de orientarnos nun labirinto os sentidos e outros sistemas de procesamento sensorial como a memoria e a lóxica actúan conxuntamente. Pero en ocasións, en función das circunstancias particulares, poden prevalecer uns ou outros⁸. Un exemplo, moi evidente son os labirintos lóxicos.

Inventados por Robert Abbot en 1952, os labirintos lóxicos son labirintos visualmente moi simples de resolver, pero nos que hai que observar unha serie de regras. Iso esixe unha maior capacidade de procesamento por parte do cerebro. Por iso enfrontámonos a eles sabendo de antemán que a súa dificultade non reside no seu trazado (que, de feito, adoita ser moi sinxelo) senón na obrigatoriedade de percorrelo cumprindo unhas determinadas normas. E por iso apoiámonos máis na nosa capacidade de procesamento.

Noutras ocasións tamén podemos primar voluntariamente unha capacidade –visión ou procesamento cerebral– sobre a outra. De feito, facémolo sen ser conscientes diso ante a necesidade de dedicar unha delas –vista ou memoria– a algunha tarefa máis urxente ou importante. Por exemplo, no noso remoto pasado, cando se modelou a nosa habilidade para enfrontarnos a unha contorna labirintica: identificar posibles sinais de presas ou depredadores ou localizar fontes de alimento. Ou, na actualidade, atender a unha conversación telefónica, guasapear con alguén, lembrar unha información importante, etc.

⁸ Zhao Min, Marquez, Andre G. 2013. *Understanding humans strategies in maze solving*. arXiv:1307.5713 (2013) (<https://doi.org/10.48550/arxiv.1307.5713>)

O LABIRINTO DO SUPERMERCADO

Un caso práctico e un experimento para facer de camiño a casa é acceder a un supermercado. Proba a percorrer os corredores do supermercado desde a entrada ata alcanzar a peixaría e logo a saída. Repite a experiencia, pero tendo que lembrar os produtos da lista da compra ou recitando unha canción, tarefas que mantén (parcialmente) ocupada á memoria.

O NAVEGADOR INTERNO OU “GPS” DO CEREBRO

Unha vez que xa temos claro que a nosa capacidade para navegar por un labirinto depende dos nosos sentidos (fundamentalmente, a vista) e a capacidade computacional do noso cerebro, chega o momento de resolver como nos orientamos nunha contorna labiríntica. A resposta é que o facemos porque o noso cerebro conta cun sofisticado navegador espacial: o sistema de posicionamento interno ou “GPS” do cerebro.

VIVIMOS RODEADOS DE LABIRINTOS

Por que é tan importante este sistema de posicionamento interno? Porque os labirintos poden ser moi divertidos cando se afrontan como entretemento, por exemplo, no parque de atraccións ou nun videoxogo. Pero non o son tanto cando están presentes e interfíren no noso día a día. E a realidade é que o están: cada día enfrontámonos a multitude de escenarios labirínticos polos que nos movemos botando man do noso navegador interno, noso “GPS” cerebral (e, ás veces, tamén os do noso vehículo ou o noso teléfono). Cando circulamos entre os andeis do supermercado ou polos corredores dun gran centro comercial; ao subir ao metro e escoller a ruta idónea ou ao buscar un percorrido alternativo para tentar evitar os atascos de tráfico de camiño do traballo a casa⁹. Vivimos rodeados de labirintos.

NAVEGADOR INTERNO DO CEREBRO: COMPOÑENTES E MANUAL DE USO

Como funciona o noso sistema de localización espacial? O sistema de posicionamento interno ou “GPS cerebral” consta de dous elementos ou funcionalidades: un sistema para identificar sinais destacados e situalos, e un sistema de referencia universal para desprazarnos.

⁹ Bongiorno, C., Zhou, E., Kryven, M. *et al.* *Vector-based pedestrian navigation in cities*. *Nat Comput Sci* 1, 678–685 (2021). <https://doi.org/10.1038/s43588-021-00130-y>

O sistema de referencia é unha rede ou cuadrícula (análoga ao sistema de meridianos e paralelos) e é sempre o mesmo en calquera contorna: é universal. O cerebro superpono ao escenario ao que nos enfrontamos para dispoñer dunha guía que nos permite saber en todo momento onde estamos e en que dirección e canto nos desprazamos por esa contorna.

Unha vez integrado o escenario neste sistema de referencia, o cerebro identifica sinais ou fitos particulares e sitúaos nunha desas casas.

Deste xeito e con estes fitos como referencias, podemos estimar en que dirección movémonos e a distancia: cantas casas avanzamos e en que dirección. E ao revés, cantas casas e en que dirección temos que movernos para alcanzar un fito concreto, por exemplo, unha igrexa que queremos visitar e cuxo campanario vemos a distancia.

Todas estas estimacións realízaas o cerebro grazas a diferentes tipos de neuronas especializadas: así, hai neuronas que se activan en función da dirección á que apunta a nosa cabeza, cara a onde miramos e deste xeito o cerebro sabe en que sentido desprazámonos; en tanto que outro tipo de neuronas estiman o ritmo ou velocidade á que nos movemos e a partir diso, a distancia percorrida.

TEMOS CEREBRO DE TURISTAS... E TAMÉN MEMORIA DE TURISTAS

O certo é que o noso cerebro emprega un sistema de navegación que funciona de forma similar aos planos das guías de viaxes¹⁰. Porque cando circulamos por unha contorna xa coñecida, o noso cerebro accede ao seu arquivo de mapas mentais para recuperar ese plano en concreto coas posicións exactas dos fitos destacados nese escenario e a partir deles recoñecer onde estamos e como temos que movernos para chegar ao destino desexado. A diferenza é que xa non imos identificando e fixando a posición dos fitos particulares conforme os descubrimos, senón que xa partimos con esa información en mente, o que nos permite avanzar máis rápido e con maior seguridade, xa que realizamos unha estimación máis precisa da nosa posición en cada momento.

Esta aparente seguridade é tamén a que, ás veces, xóganos unha mala pasada cando nos cambian as pezas do escenario inesperadamente¹¹. Por exemplo, e de volta ao noso caso práctico do supermercado, cando no centro ao que acudimos normalmente cambian a localización dos diferentes tipos de produtos ou a distribución nos estantes dun día para outro¹².

10 Moser, May-Britt; Moser, Edvard I. *The Brain's GPS Tells You Where You Are and Where You've Come from*. *Scientific American*, (xaneiro, 2016).

11 Shikauchi, E., Ishii, S. *Decoding the view expectation during learned maze navigation from human fronto-parietal network*. *Sci Rep* 5, 17648 (2016). <https://doi.org/10.1038/srep17648>.

12 Zheng, L., Gao, Z., McAvan, A.S. *et al*. *Partially overlapping spatial environments trigger reinstatement in hippocampus and schema representations in prefrontal cortex*. *Nat Commun* 12, 6231 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41467-021-26560-w>

UN DESCUBRIMIENTO QUE BEN MERECE UN PREMIO... NOBEL (OU MESMO DOUS)

O descubrimento de como funciona este “GPS” interno foi recoñecido co premio Nobel de Medicina e Fisioloxía de 2014 aos seus descubridores: John Ou’keefe, May Britt Moser e Edvard I. Moser¹³.

Un fito e unha distinción que atopan a súa orixe noutro descubrimento: o das neuronas por parte de Santiago Ramón y Cajal mercé a unha técnica desenvolvida por Camilo Golgi e que así mesmo mereceu o premio Nobel de Medicina e Fisioloxía de 1906¹⁴.

¹³ Nobelprice.org. The 2014 Nobel Price in Physiology or Medicine.

¹⁴ Nobelprice.org. The 1906 Nobel Price in Physiology or Medicine.

OS LABIRINTOS DA NEUROCIENCIA

Por que é tan importante entender como funciona en detalle o navegador interno do cerebro? Porque, entón, os labirintos convértense nun instrumento para o diagnóstico e/ou tratamento de enfermidades e trastornos mentais. Deste xeito, e conforme a neurociencia foi profundando en como o cerebro se enfronta, procesa e resolve os labirintos, estes estanse convertendo nunha ferramenta cada vez máis aplicada¹⁵, non só na investigación do cerebro senón tamén para diagnosticar desordes neurolóxicas e como terapia para tratalos¹⁶.

15 Goodwin, C. J. *Amazing research. Monitor on Psychology*, 43(2). 1 de febreiro de 2012. <https://www.apa.org/monitor/2012/02/research>

16 Mennenga SE, Baxter LC, Grunfeld IS, Brewer GA, Aiken LS, Engler-Chiurazzi EB, Camp BW, Acosta JI, Braden BB, Schaefer KR, Gerson JE, Lavery CN, Tsang CW, Hewitt LT, Kingston ML, Koebele SV, Patten KJ, Ball BH, McBeath MK, Bimonte-Nelson HA. *Navigating to new frontiers in behavioral neuroscience: traditional neuropsychological tests predict human performance on a rodent-inspired radial-arm maze*. *Front Behav Neurosci*. (2014) doi: 10.3389/fnbeh.2014.00294.

SIGA A ESE TAXI!

Neste sentido, un dos grandes avances produciuse en 2011 cando un estudo¹⁷ demostrou que os taxistas londinienses tiñan máis desenvolvida a rexión do cerebro na que se almacena a información e os recordos dos que depende o noso sistema de navegación. E tamén que este aumento da capacidade cerebral era consecuencia da práctica. Os taxistas máis experimentados presentaban unha maior capacidade. É dicir, que esta capacidade pódese adestrar. Mellor aínda, que a capacidade para orientarse aumenta ao adestrala. Un descubrimento que abriu as portas á súa aplicación como terapia para o cerebro.

LABIRINTOS MEMORABLES

Outro recente estudo¹⁸ efectuado en 2021 confirmou que navegar por contornas labirínticas virtuais mellora a memoria a longo prazo dos individuos de idade avanzada. Isto abre a porta á súa futura aplicación para paliar, retardar e combater a perda de memoria asociada á idade e como posible tratamento para axudar en problemas neurodexenerativos como o alzhéimer¹⁹. Para alcanzar esta

17 Maguire E., Gadian D., Johnsrude I., Frith C. et al. *Navigation-related structural change in the hippocampi of taxi drivers*. PNAS, 97 (8) 4398-4403 (2000) <https://doi.org/10.1073/pnas.070039597>

18 Wais, P.E., Arioli, M., Anguera-Singla, R. et al. *Virtual reality video game improves high-fidelity memory in older adults*. *Sci Rep* 11, 2552 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-82109-3>

19 Rubtcova, M. e Pavenkov, O. (2017) *International Conference on Inclusive Education-2017*, University of South Australia - School of Education. 27-29 outubro. 201.

conclusión os autores da investigación desenvolveron o xogo de realidade virtual *Labyrinth* que mergulla ao individuo en realistas e novas contornas e escenarios.

SEA HERO QUEST: UNHA APLICACIÓN INFORMÁTICA RECREATIVA PARA DIAGNOSTICAR O ALZHEÍMER

A dificultade para a navegación espacial é un dos síntomas comúns das primeiras fases do alzhéimer e doutras demencias. Entender como se manifesta permitiría diagnosticar estas enfermidades nas súas fases máis temperás²⁰. *Sea Hero Quest* é un xogo de orientación deseñado como aplicación para o móbil por neurocientíficos da Universidade de *East Anglia* (Reino Unido) en colaboración co *University College London*, o CNRS e outras prestixiosas universidades. O obxectivo era recompilar un inxente volume de datos dun gran número de persoas de todas as idades, etnias, xéneros, procedencias, etc. E a partir destes datos, determinar como evoluciona co paso do tempo a nosa capacidade de navegación e cal é o declive normal propio da idade. O que á súa vez permitirá un diagnóstico máis temperán das enfermidades cando os sinais de perda do paciente superen (ou se manifesten doutro xeito) ás normais para o seu rango de idade.

20 Wood, H. *A virtual Morris maze to assess cognitive impairment in Alzheimer disease*. *Nat Rev Neurol* 12, 126 (2016). <https://doi.org/10.1038/nrneurol.2016.16>.

ES DE POBO OU DE CIDADE?

Unha das primeiras evidencias alcanzadas a partir dos datos recompilados polo xogo grazas á participación cidadá –anunciada en marzo de 2022– é que as persoas que viven en contornas urbanas teñen unha peor capacidade de orientación (parecen ter un sistema de navegación interno menos efectivo) que as persoas que viven en contornas rurais²¹. É aínda peor canto máis cuadrículado ou planificado (rúas anchas e rectas) é o deseño das cidades ou barrios nos que viven. En resumo, da configuración máis ou menos labiríntica da súa contorna.

QUE É A CONFIGURACIÓN LABIRÍNTICA OU “LABIRINTICIDADE”?

Nos anos 80 do pasado século, o experto en deseño arquitectónico Bill Hillier definiu o termo configuración labiríntica ou “labirinticidade” dun lugar (barrio, cidade, etc.) atendendo ao fácil ou alcanzable que era circular a través del para alcanzar o destino desexado²². Introduciu unha escala de 0 a 10 de dificultade crecente e sinalou como exemplo de máxima “labirinticidade” Barbican Estate (Londres), un complexo de edificios construído en varios

21 Coutrot, A., Manley, E., Goodroe, S. et al. *Entropy of city street networks linked to future spatial navigation ability*. *Nature* 604, 104–110 (2022). <https://doi.org/10.1038/s41586-022-04486-7>.

22 Yamu, Claudia, Akkelies van Nes, and Chiara Garau. *Bill Hillier’s Legacy: Space Syntax—A Synopsis of Basic Concepts, Measures, and Empirical Application*. *Sustainability* 13, non. 6: 3394. (2021). <https://doi.org/10.3390/su13063394>.

niveis e que conta con numerosas entradas e corredores, o que para moitos convérteo nunha especie de labirinto de formigón. Para axudar aos visitantes a chegar ao seu destino, os percorridos están marcados con liñas de cores no chan e carteis.

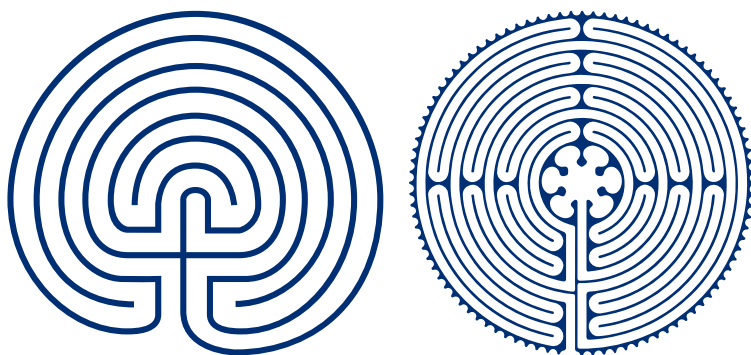
A COVID PODE AFECTAR O NOSO NAVEGADOR ESPACIAL

A COVID persistente pode causar anomalías neurolóxicas como a denominada néboa cerebral caracterizada por problemas de memoria, falta de claridade mental e incapacidade para concentrarse. Un recente estudo²³ publicado en marzo de 2023 vincula padecer COVID persistente con dificultades na capacidade de navegación espacial e coa aparición de prosopagnosia ou cegueira facial, un raro trastorno do sistema visual que impide o recoñecemento das caras familiares e que saltou aos medios de comunicación porque o famoso actor Brad Pitt recoñeceu padecela. As dificultades de localización afectan á capacidade para situar un lugar coñecido con respecto á túa localización actual. Por exemplo, as distintas seccións do noso supermercado (froitería, carnicería, conxelados, etc.) ou a praza do aparcamento onde se estacionou o coche.

23 Kieseler M-L., Duchaine B. *Persistent prosopagnosia following COVID-19*. Cortex, Volume 162, páxinas 56-64, (maio de 2023) (<https://doi.org/10.1016/j.cortex.2023.01.012>).

DESCONEXIÓN MENTAL

Finalmente, outra das recentes aplicacións terapéuticas dos labirintos devólvenos á súa “orixe”. Desde a Antigüidade e durante a Idade Media, os labirintos eran entendidos, sobre todo, como un escenario ou unha ferramenta que convidaba á meditación (e a espiritualidade) ao percorrelos. Na actualidade, recuperouse este uso e recórrese ao emprego de labirintos para tratar a ansiedade e o estrés. En concreto, empréganse pequenos deseños de parede que hai que percorrer co dedo a fin de alcanzar un estado de relaxación mental. A plena concentración nesta tarefa axuda a liberar a mente doutras preocupacións, urxencias e angustias²⁴.



²⁴ Lin et al. *On Variation in Mindfulness Training: A Multimodal Study of Brief Open Monitoring Meditation on Error Monitoring*. *Brain Sciences* 9/9:226 (2019) <https://doi.org/10.3390/brainsci9090226>.

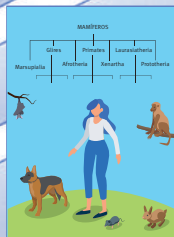
UN CÓMIC PARA PROFUNDAR NO FUNCIONAMENTO DO NAVEGADOR INTERNO DO CEREBRO

APARECE QUE ESTAMOS
DENTRO DUN LABIRINTO.
ACOMPÑASNOS?

ENTRA SE QUERES SABER MÁIS DE
COMO FUNCIONA O NAVEGADOR
INTERNO DO CEREBRO.

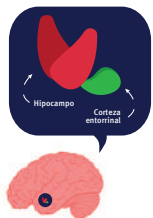


A CAPACIDADE PARA ORIENTAR-SE NA NATUREZA É FUNDAMENTAL PARA OS SERES VIVOS À HORA DE ATOPAR REFÚGIO, ALIMENTO...

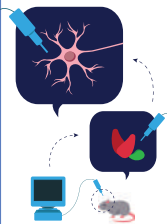


DE FEITO, DESCUBRIUSE UN SISTEMA DE NAVEGACIÓN COMÚN NO CEREBRO DOS MAMÍFEROS: MORCEGOS, ROEDORES, MONOS, PRIMATES..., E O SER HUMANO.

UN SISTEMA DE POSICIONAMENTO INTERNO QUE SE LOCALIZA EN DÚAS ÁREAS CONCRETAS DO CEREBRO: O HIPOCAMPO E O CÓRTEX ENTORRINAL, QUE ESTÁN INTIMAMENTE CONECTADAS ENTRE ELAS.



OS CIENTÍFICOS DESCUBRIRON COMO E EN BASE A QUE FUNCIONA ESTE SISTEMA DE POSICIONAMENTO INTERNO OU «GPS DO CEREBRO» ESTUDANDO A ACTIVIDADE NEURONAL DESTAS ÁREAS NO CEREBRO DE ROEDORES.

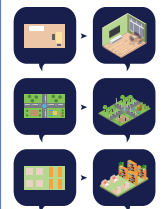


PRIMEIRO DESCUBRIUSE NO HIPOCAMPO UN TIPO PARTICULAR DE NEURONAS —QUE DENOMINARON «NEURONAS DE LUGAR»—.



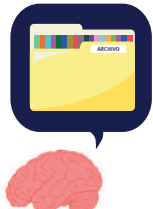
ACTÍVANSE AO RECIBIR A INFORMACIÓN EXTERNA DOS SENTIDOS, ESPECIALMENTE A VISTA. CANDO PASAMOS POR UN LUGAR CONCRETO, CREAN MARCAS NO ESPAZO QUE LEMBRAMOS PARA NOS ORIENTAR...

...E TODAS XUNTAS FORMAN UN MAPA FÍSICO DO ESPAZO QUE CONSTITÚE A BASE PARA SABER ONDE ESTAMOS EN TODO MOMENTO.



CADA VEZ QUE CAMBIAMOS DE ESCENARIO E NOS MOVEMOS POR UN NOVO, ESTAS NEURONAS XERAN OUTRO MAPA FÍSICO ÚNICO.

E CADA UN DESTES MAPAS ALMACÉNASE NA MEMORIA E PASAN A FORMAR PARTE DO NOSO ARQUIVO DE MAPAS.



DESTE XEITO, CANDO VISITAMOS OUTRA VEZ UN ESCENARIO, O CEREBRO RECUPERA O MAPA CORRESPONDENTE E NON O TEN QUE VOLVER XERAR. POR ISO NOS MOVEMOS CON MÁIS SOLTURA E SEGURIDADE EN ESPAZOS (RE)CONECIDOS.

POSTERIORMENTE, NO CÓRTEX ENTORRINAL IDENTIFICÓUSE OUTRO TIPO DE NEURONAS QUE, CONFORME NOS DESPAZAMOS POR UN ESPAZO, SE VAN ACTIVANDO UNHA A UNHA A INTERVALOS REGULARES, CADA CERTA DISTANCIA. A DIFERENZA DAS «CÉLULAS DE LUGAR», NON RESPONDEN ANTE UN SITIO CONCRETO, A ALGO QUE CAPTA A NOSA ATENCIÓN, SENÓN QUE SON COMO AS FARAGULLAS DE PAN QUE POLGARÍÑO ÍA TIRANDO REGULARMENTE PARA MARCAR O CAMIÑO.

ADEMAIS, O CEREBCRO NON SE LIMITA A RECUPERAR O MAPA, SENÓN QUE APROVEITA CADA VISITA A ESE ESCENARIO PARA REVISALO, ACTUALIZALO E COMPLETALO, POR ISO, CANTAS MÁIS VECES O VISITAMOS, MÁIS SINXELO NOS RESULTA ORIENTARNOS NEL, XA QUE DISPOÑEMOS DE MÁIS REFERENCIAS.

ESTAS NEURONAS DENOMÍNASSE «CÉLULAS CELA» PORQUE O QUE FAN É IR SINALIZANDO OU POÑENDO MARCAS NO ESPAZO, E TODAS XUNTAS FORMAN OU XERAN UN MARCO DE REFERENCIA, POR DILLO DUN MODO SINXELO: O QUE FAN ESTAS NEURONAS É ENMARCAR O ESCENARIO NUNHA RETÍCULA, UN SISTEMA DE COORDENADAS, ALGO PARECIDO ÁS CUADRÍCULAS DOS RUEIROS.

A DIFERENZA DAS «CÉLULAS DE LUGAR», QUE XERAN UN NOVO MAPA FÍSICO ÚNICO PARA CADA ESCENARIO, AS «CÉLULAS CELA» XERAN SEMPRE O MESMO SISTEMA DE COORDENADAS SOBRE TODOS OS ESCENARIOS, DE IGUAL MANEIRA QUE OS RUEIROS RECORREN AO MESMO SISTEMA DE CUADRÍCULAS PARA TODAS AS CIDADES.

O MÁIS INTERESANTE É QUE AS NEURONAS QUE DELIMITAN CADA CELA SE COMUNICAN ENTRE ELAS, E ISTO PERMÍTELLE AO CEREBCRO SABER EN QUE SECTOR ESTAMOS EN CADA MOMENTO, CANDO PASAMOS DUN A OUTRO E EN CAL ENTRAMOS.

ESTE SISTEMA DE REFERENCIA PERMÍTELLE AO CEREBCRO SEGUIR O NOSO MOVEMENTO NO ESPAZO E TRAZAR A RUTA OU CAMIÑO QUE PERCORREMOS.

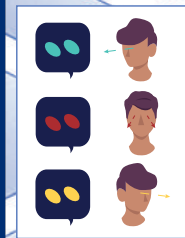
O QUE SI QUE FAN AS «CÉLULAS CELA» É AXUSTAR O TAMAÑO DAS CELAS SEGUNDO A EXTENSIÓN DO ESCENARIO –UNHA INFORMACIÓN QUE RECIBEN DA VISTA–, DO MESMO XEITO QUE NOS RUEIROS O TAMAÑO DAS CELAS (A SÚA ESCALA) VARÍA ATENDENDO Á EXTENSIÓN DE NÚCLEO URBANO QUE ABRANGUEN.

GRAZAS A ESTA CAPACIDADE PARA DIMENSIONAR AS CELAS, ESTAS SON FUNCIONAIS EN CALQUERA ESCENARIO: XA SEXA NUN CUARTO OU NUN PARQUE, O CEREBCRO PODE SEGUIR O NOSO MOVEMENTO POLA ACTIVACIÓN SECUENCIAL DAS DISTINTAS CELAS.

PERO SE ESTAS «NEURONAS CELA» NON RESPONDEN A ESTÍMULOS EXTERNOS CONCRETOS, SENÓN QUE SE ACTIVAN REGULARMENTE, COMO SABEN CANDO SE DEBEN ACTIVAR?

A RESPONSA ATÓPASE NOUTROS DOUS TIPOS DE NEURONAS TAMÉN PRESENTES NO CÓRTEX ENTORRINAL.

POR UNHA BANDA, AS «NEURONAS DE DIRECCIÓN DA CABEZA» ACTIVÁNSE SEGUNDO A DIRECCIÓN EN QUE APUNTA A NOSA CABEZA, CARA A ONDE MIRAMOS.



ACTÚAN COMO UN COMPÁS INTERNO, XA QUE SE ACTIVAN UNHAS OU OUTRAS DEPENDENDO DE SE MIRAMOS Á DEREITA OU Á ESQUERDA, ADIANTE OU ATRÁS ETC.

POR OUTRA BANDA, ESTÁN AS NEURONAS QUE MONITORIZAN A VELOCIDADE E ESTIMAN A QUE RITMO AVANZAMOS E, POR TANTO, CANTA DISTANCIA PERCORREMOS.

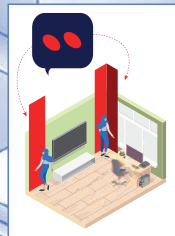


ISTO É FÁCIL DE ENTENDER, XA QUE CALQUERA DE NÓS SABE SE AVANZA MÁIS RÁPIDO OU MÁIS AMODO, MESMO COS OLLOS PECHADOS, SEN NECESIDADE DE INFORMACIÓN EXTERNA.

E TAMÉN SABEMOS EN QUE DIRECCIÓN APUNTA A NOSA CABEZA AÍNDA QUE TEÑAMOS OS OLLOS PECHADOS. DESTE XEITO, O CEREBRO SABE ESTIMAR A QUE VELOCIDADE NOS MOVEMOS E EN QUE DIRECCIÓN APUNTA A NOSA CABEZA EN CALQUERA CIRCUNSTANCIA E AMBIENTE.

ADEMAIS, TAMÉN SE DESCUBRIU OUTRO TIPO DE NEURONAS, BAUTIZADAS COMO «CÉLULAS DE LÍMITE OU BORDO», XA QUE SE ACTIVAN CANDO NOS ACHEGAMOS AOS LÍMITES DO ESCENARIO EN QUE NOS MOVEMOS.

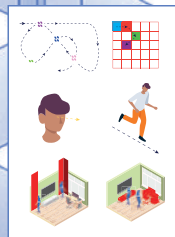
POR EXEMPLO, CANDO NOS APROXIMAMOS ÁS PAREDES NUN CUARTO OU CANDO NOS ACHEGAMOS AO VALO NUN PARQUE.



E OUTRAS QUE SE ACTIVAN CANDO TOPAMOS CUN OBSTÁCULO –POR EXEMPLO, UNHA PAREDE NUN LABIRINTO– QUE NOS IMPIDE SEGUIR AVANZANDO E HAI QUE CAMBIAR DE DIRECCIÓN.

TODAS ESTAS NEURONAS ESTÁN CONECTADAS ENTRE ELAS, DESTE XEITO, O SISTEMA DE POSICIONAMENTO DO CEREBRO, O NOSO «GPS INTERNO», INTEGRA TODA ESTA INFORMACIÓN E PROCESAA CONXUNTAMENTE...

...E AO FACELO PERMÍTENOS ORIENTARNOS EFICAZMENTE POLO ESPAZO EN QUE NOS DESPAZAMOS, SEXA ESTE COÑECIDO OU DESCOÑECIDO, DÍAFANO OU LABIRÍNTICO.



E POSIBLEMENTE AÍNDA HAXA MÁIS TIPOS DE NEURONAS CON FUNCIÓNS ESPECÍFICAS QUE AÍNDA NON FORON IDENTIFICADAS.

**Xoga e compróbao
en primeira persoa
INTERACTIVOS**

LABIRINTO ÁS ESCURAS

A ausencia (ou diminución) de referencias visuais condiciona e compromete a nosa capacidade para orientarnos nun labirinto.

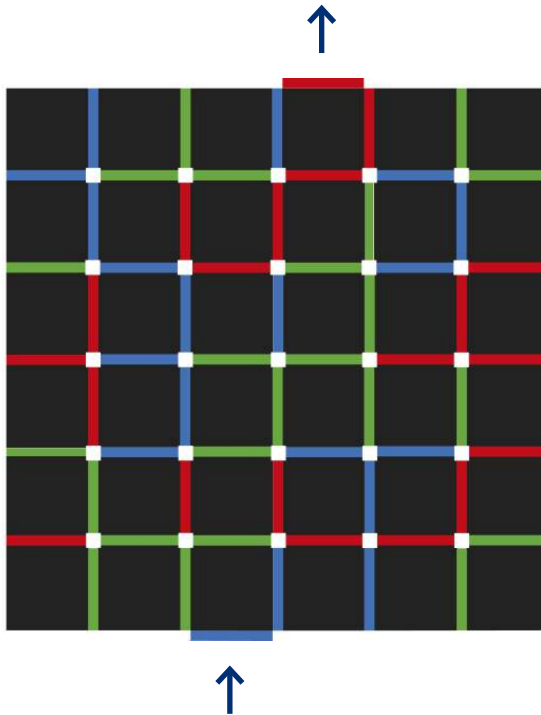
ANTES DE VIRAR A PÁXINA:

Para enfrontarte a este labirinto busca unha estancia ás escuras ou en penumbra a fin comprobar como a diminución de visión compromete a nosa capacidade para resolver un labirinto.



PROCESO: ACCIÓN DE IR CARA ADIANTE

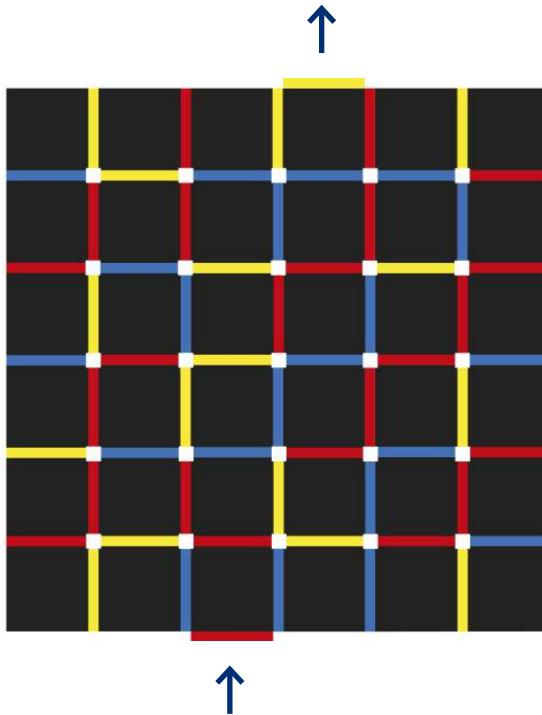
Pon a proba a túa capacidade de procesamento cerebral con estes labirintos lóxicos.



Labirinto 1

REGLA: Dá tres pasos sobre o azul, despois cambia a un novo color e repite. Tes que cambiar de cor cada terceiro paso. Continúa avanzando (non retrocedas). Se non podes dar tres pasos completos nunha dirección, proba cunha dirección diferente. Tes que saír nun terceiro escalón (vermello).

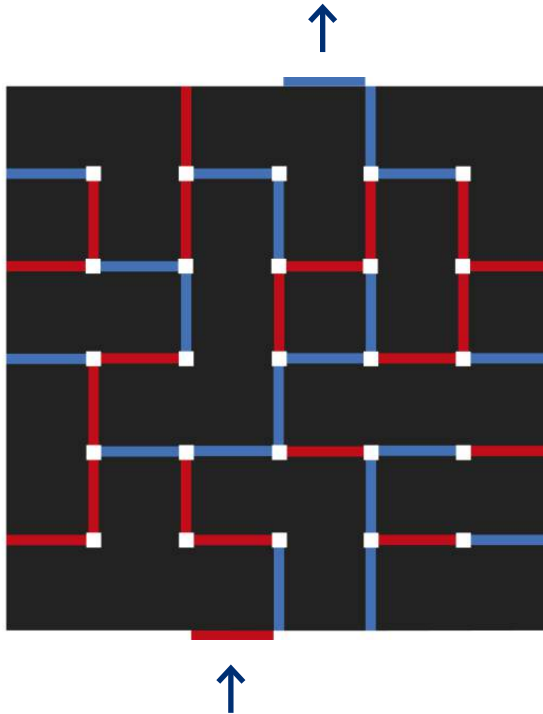
PROCESO: ACCIÓN DE IR CARA ADIANTE



Labirinto 2

REGLA: Realiza sempre a sequencia vermelho - azul - amarelo. Repite a sequencia de maneira estrita para chegar ao final: vermelho - azul - amarelo, vermelho - azul - amarelo...

PROCESO: ACCIÓN DE IR CARA ADIANTE

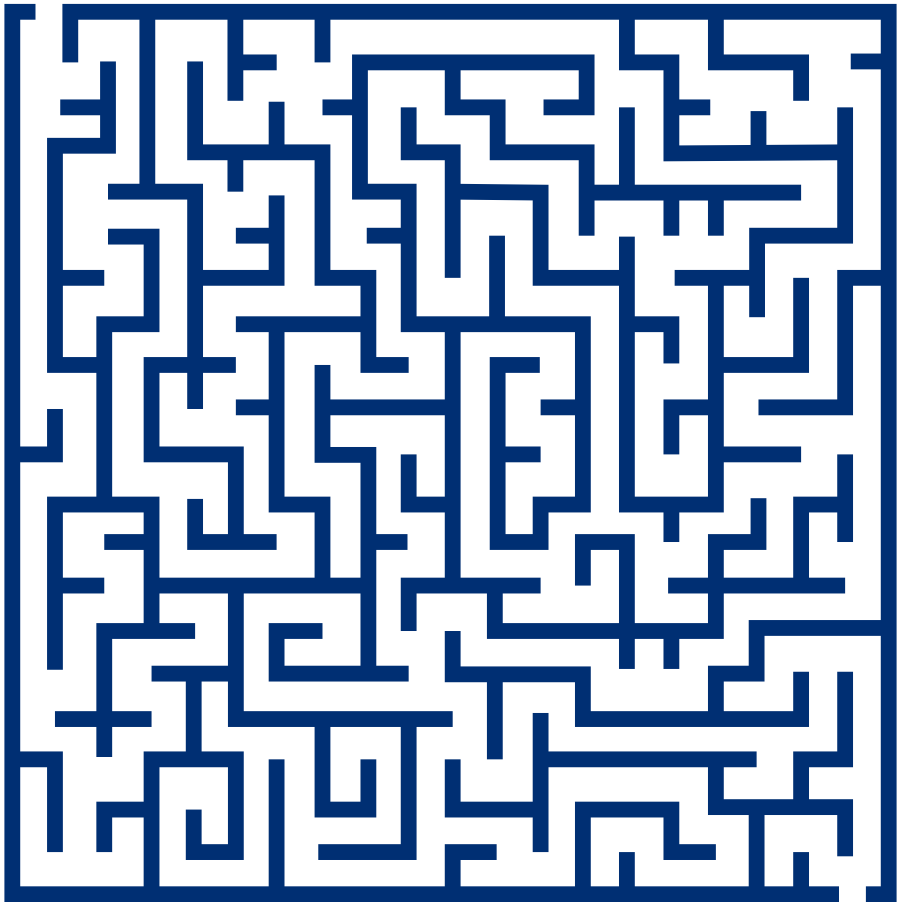


Labirinto 3

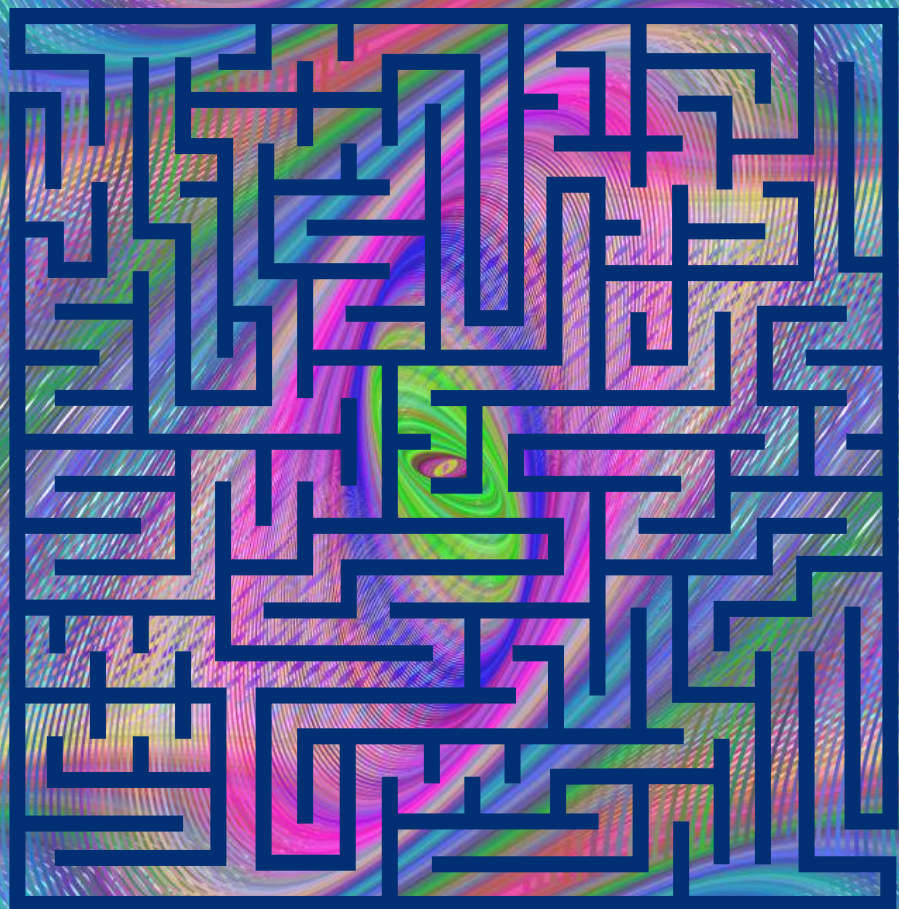
REGLA: Pasa sobre o vermello e despois sobre o azul en estritas series alternas: vermello - azul, azul - vermello, vermello - azul... Podes moverte libremente dentro de cada área.

DISTRACCIÓN FATAL

A presenza dun espello e a distracción que iso introduce no noso cerebro (parcialmente ocupado procesando a información visual do reflexo) é suficiente para que nos custe un pouco máis atopar a saída do labirinto.

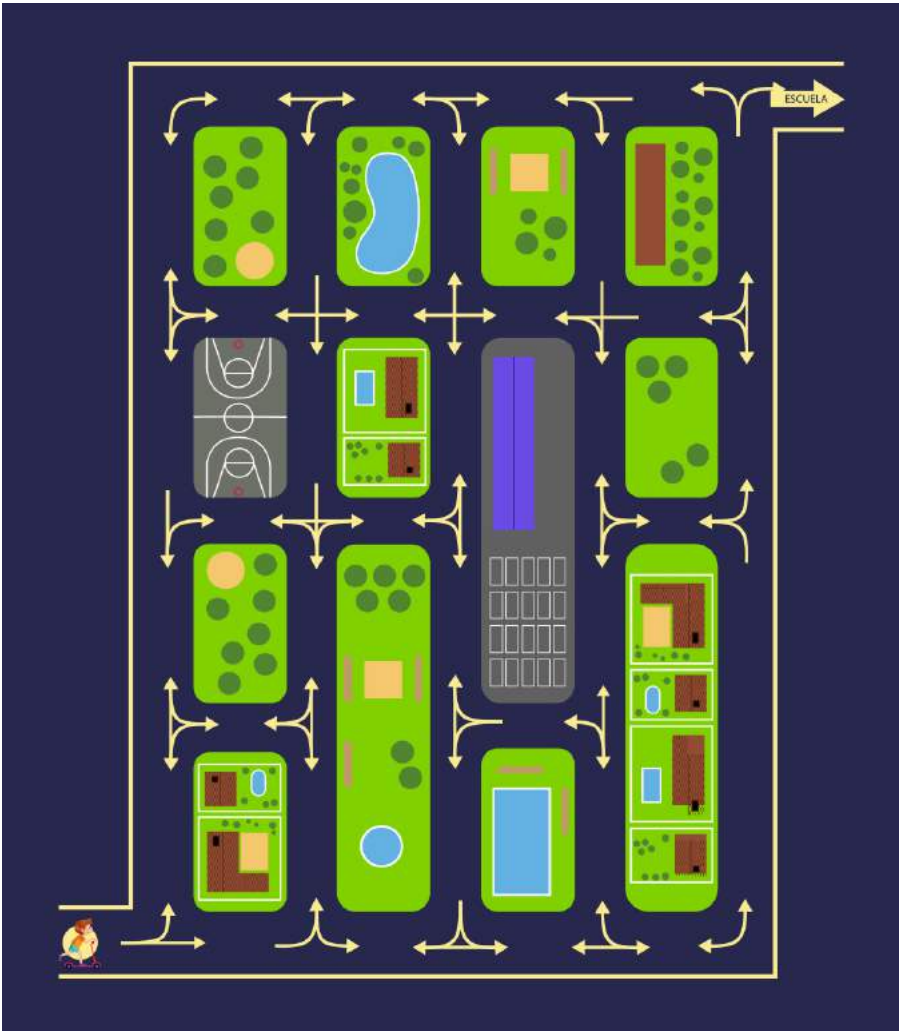


DISTRACCIÓN FATAL



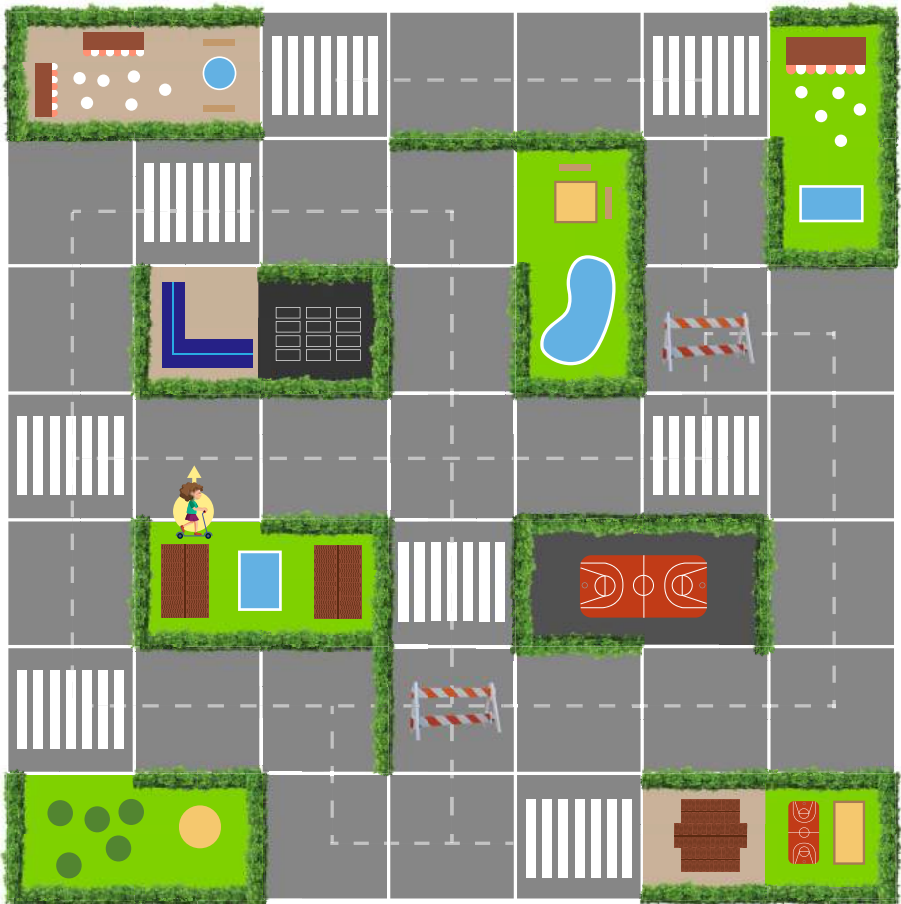
TEST DE CONDUCCIÓN

Beber unha copa de máis, ter lapsus de memoria e non atinar co camiño de volta van da man. Se che custa atopar o camiño, pillámoste.

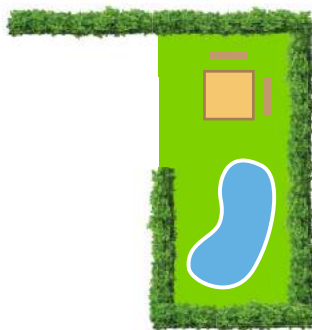
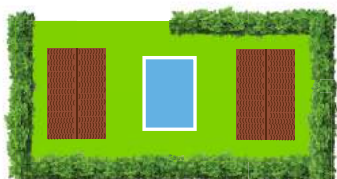


TEMOS CEREBRO DE TURISTAS

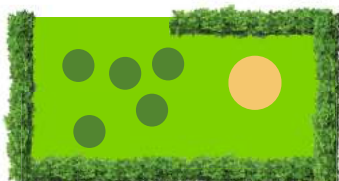
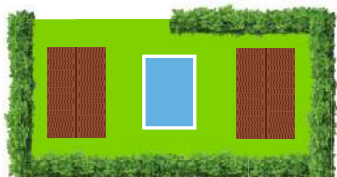
Ordena en cada caso os seguintes movementos a fin de alcanzar o teu destino.



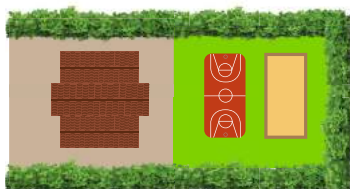
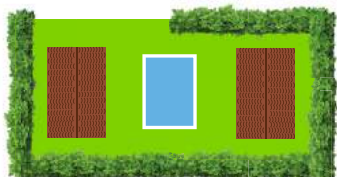
Percorso 1



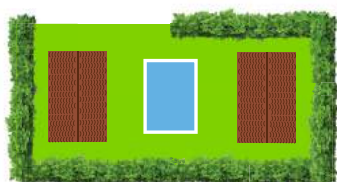
Percorso 2



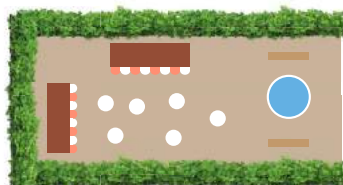
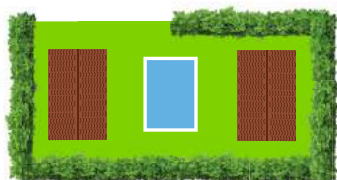
Percorso 3



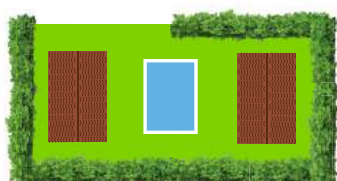
Percorso 4



Percorso 5

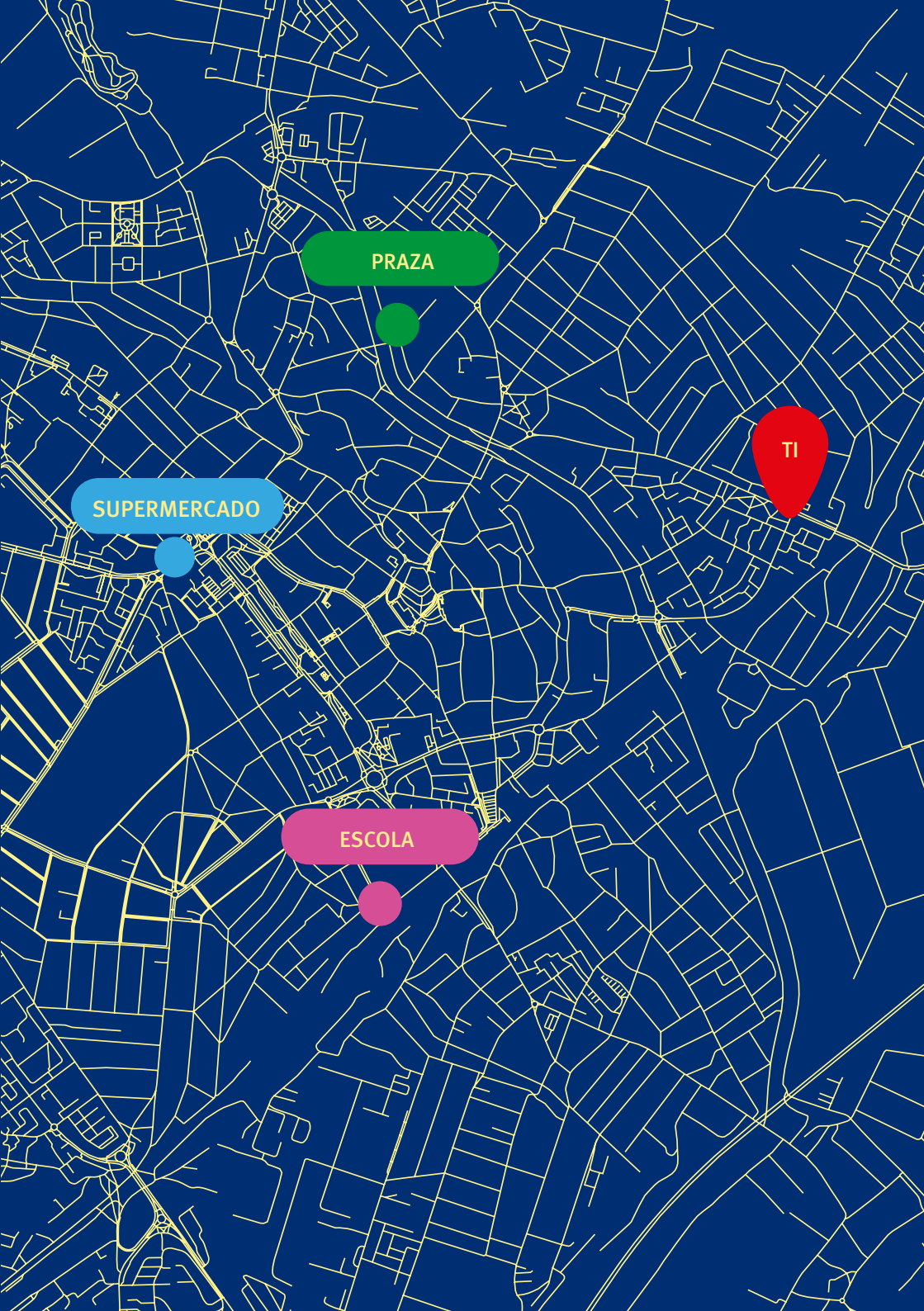


Percorso 6



DIME ONDE VIVES E DIREICHE COMO TE ORIENTAS

Un recente estudo confirma algo que parece obvio: que vivir nun entorno de elevada labirinticidade aumenta a nosa capacidade de orientación. Identifica o camiño máis curto para chegar a cada destino desde a túa posición.

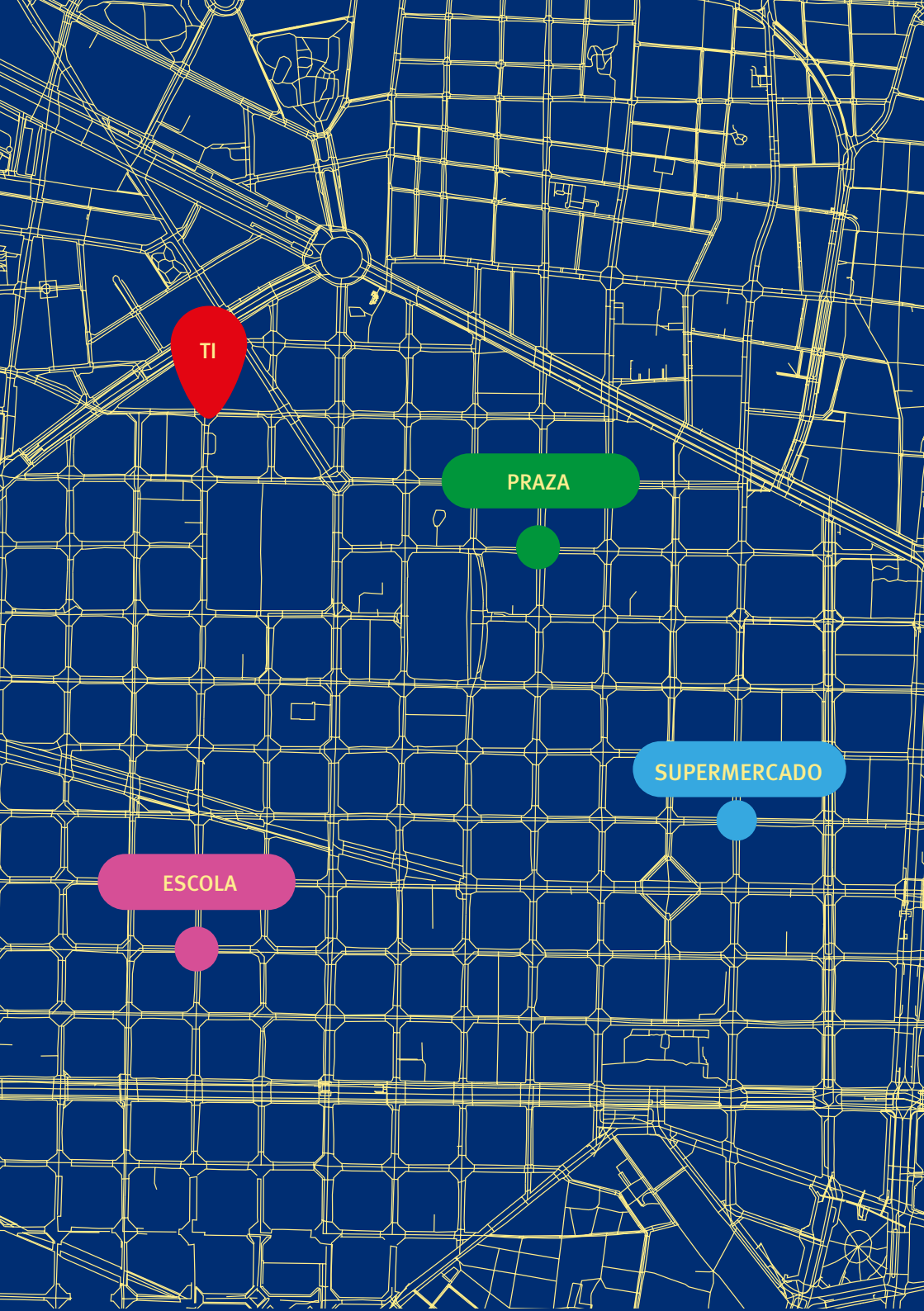


PRAZA

TI

SUPERMERCADO

ESCOLA



TI

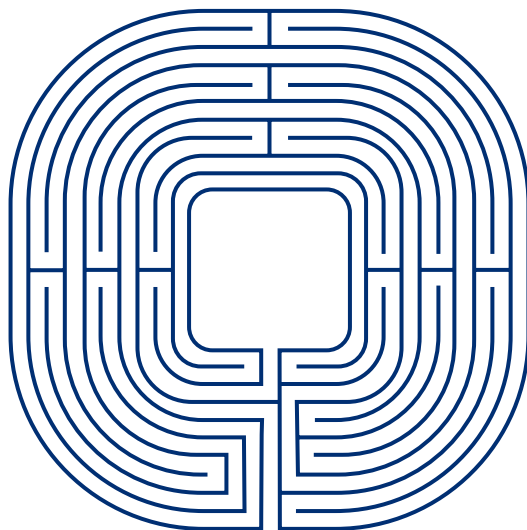
PRAZA

ESCOLA

SUPERMERCADO

DESCONEXIÓN MENTAL

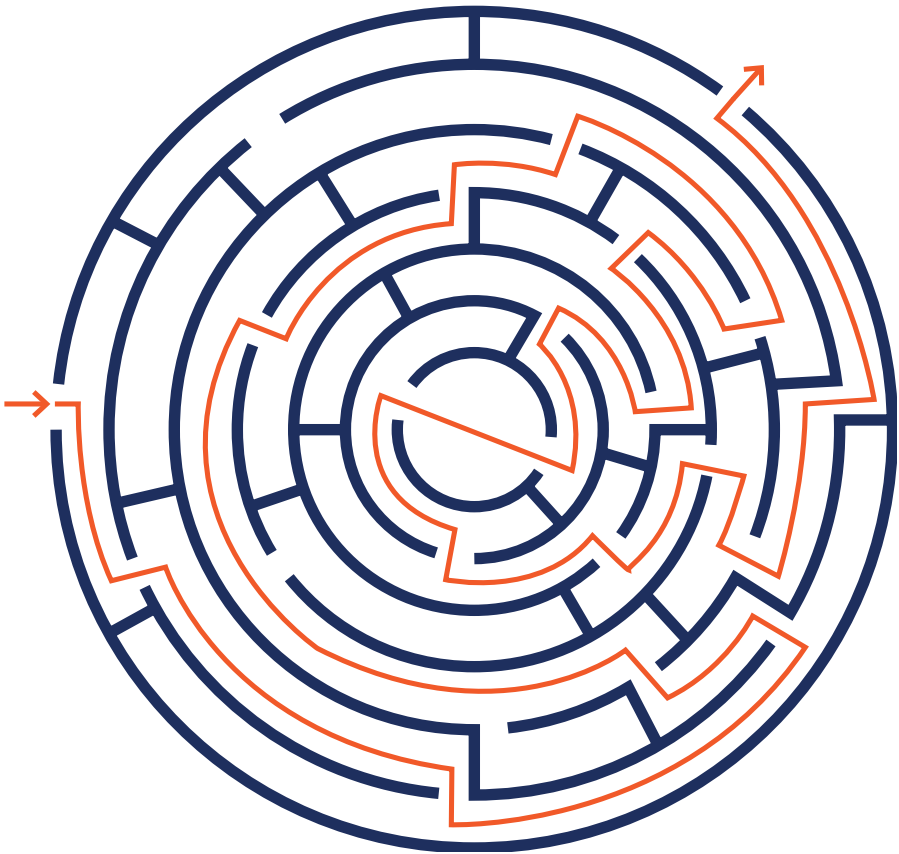
Relaxa a túa mente percorrendo estes labirintos co dedo.



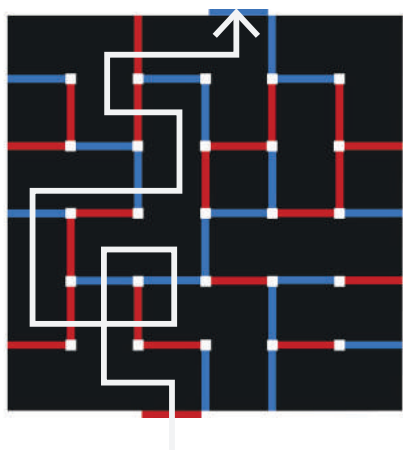
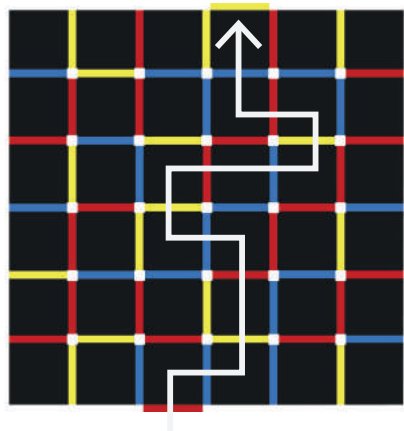
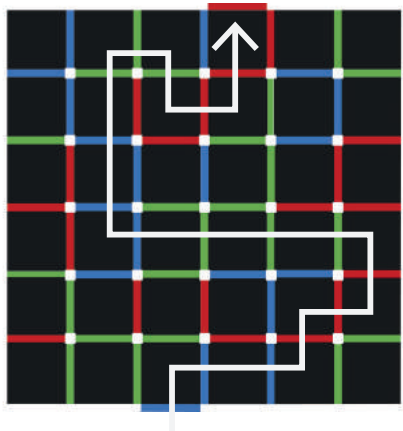
**Xoga e compróbao
en primeira persoa
SOLUCIONARIO**

SOLUCIONARIO

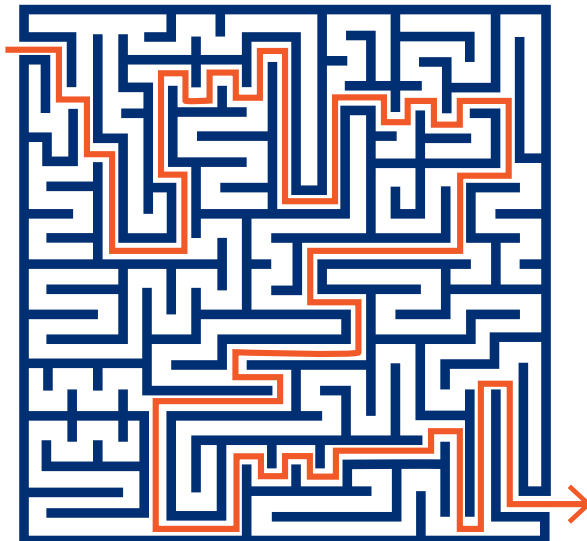
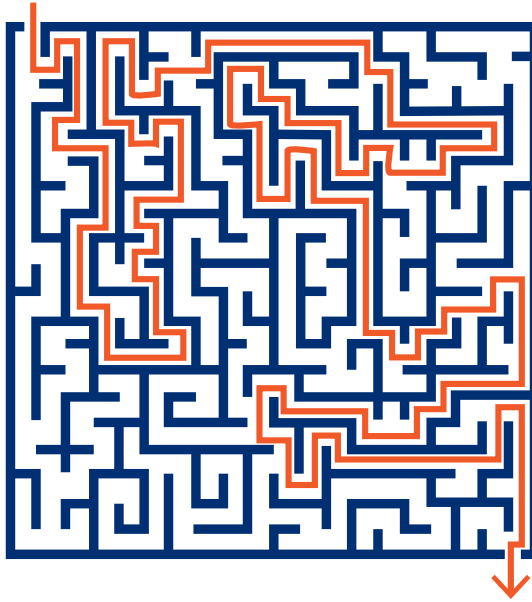
Labirinto às escuras



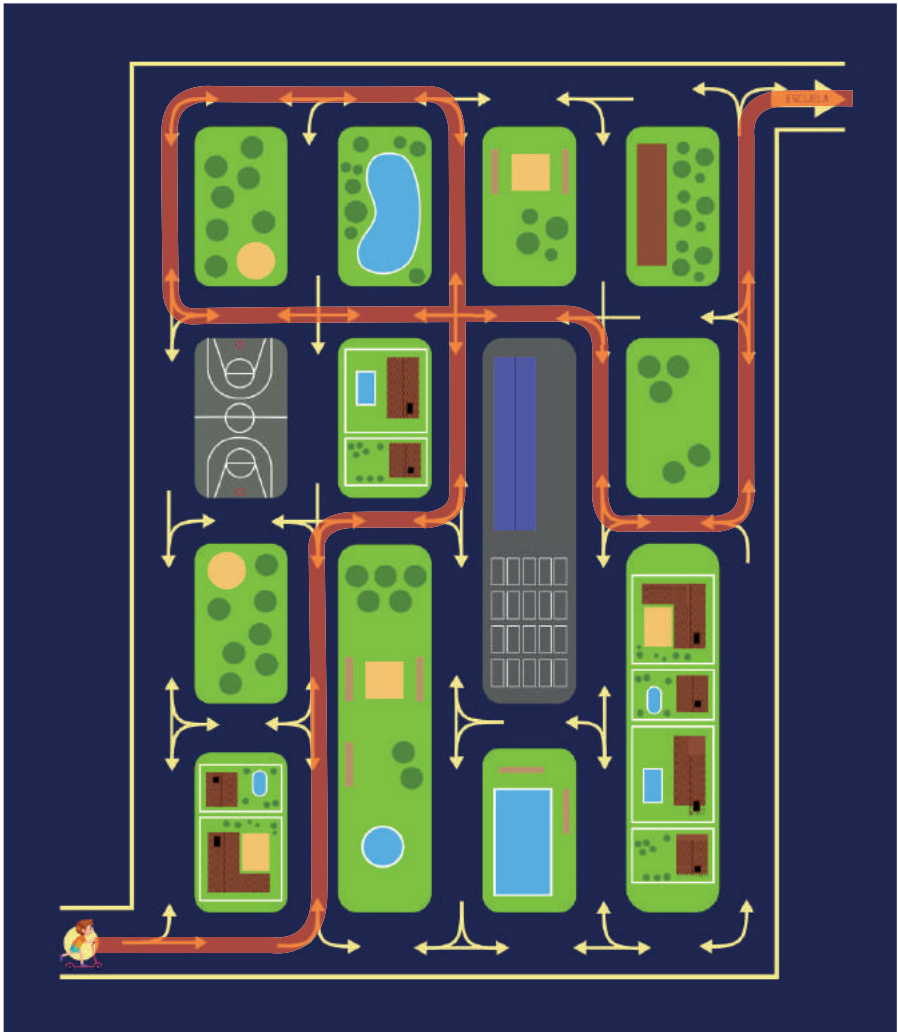
Proceso: acción de ir cara adelante



Distracción fatal

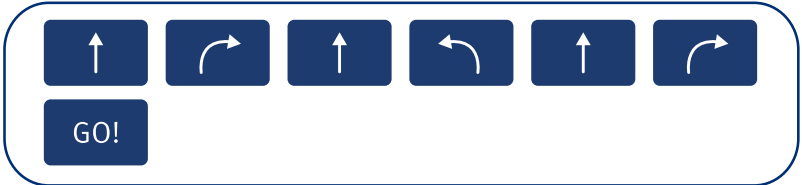


Test de conducción

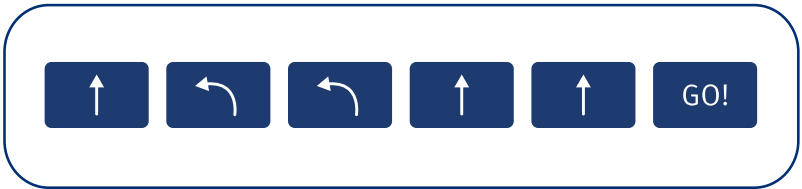


TEMOS CEREBRO DE TURISTAS

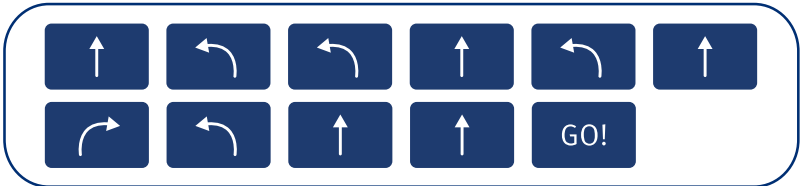
1



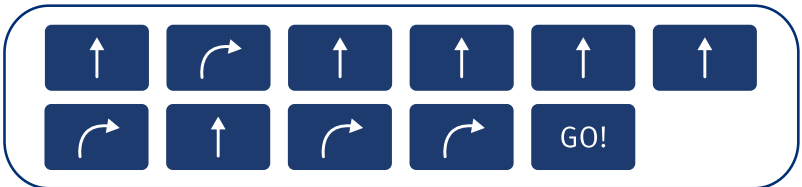
2



3



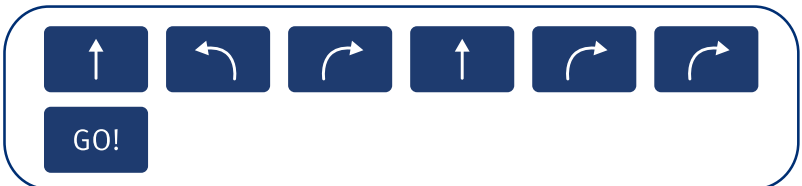
4



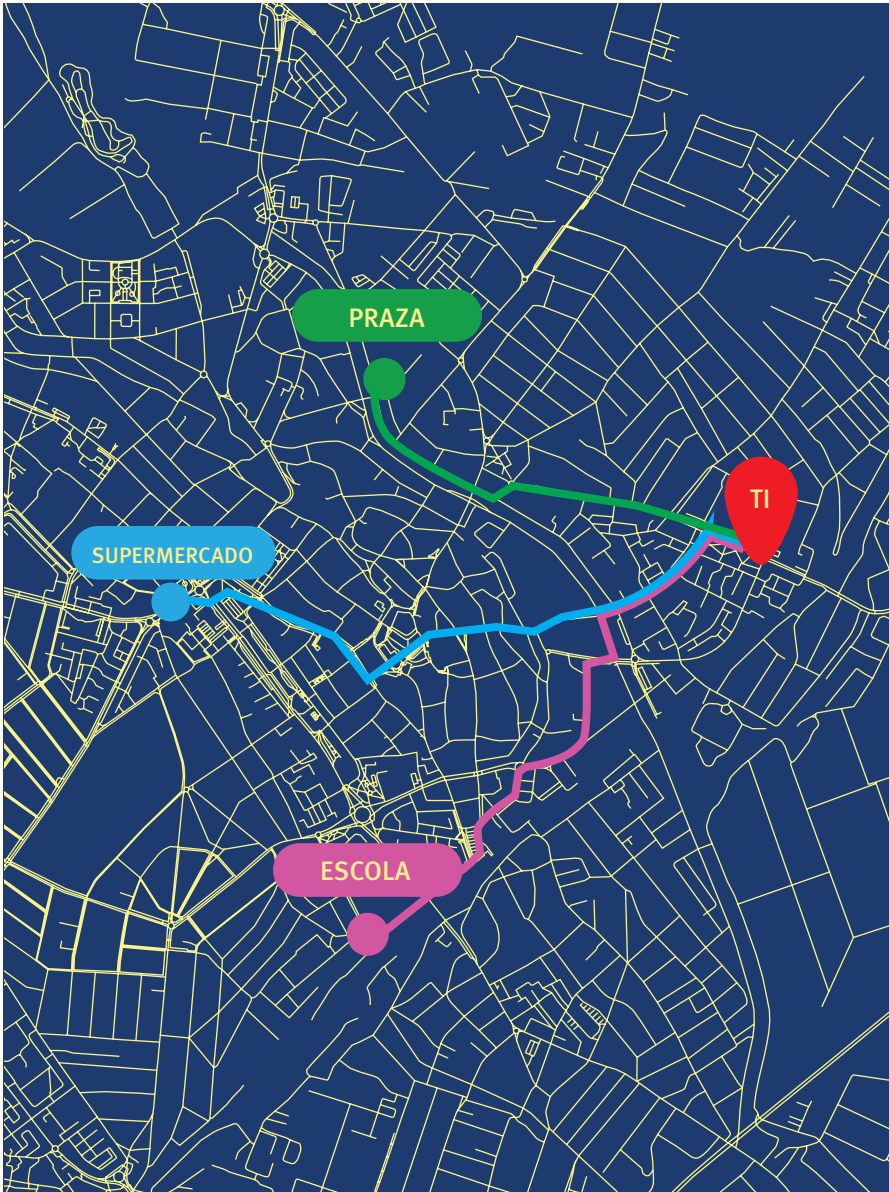
5



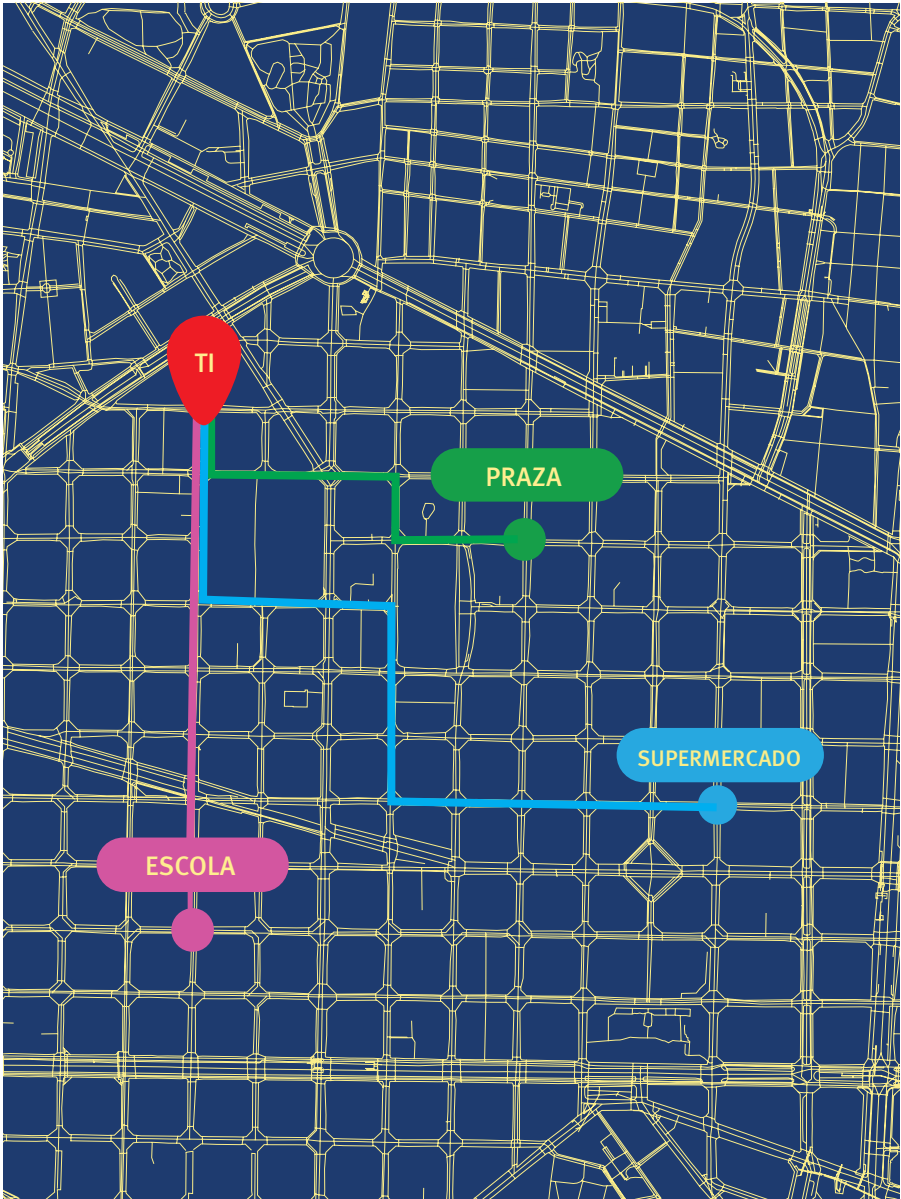
6



Dime onde vives e direiche como te orientas



Dime onde vives e direiche como te orientas



BIBLIOGRAFÍA

Artigos de publicaci3n científicas:

Bongiorno, C., Zhou, Y., Kryven, M. et al. *Vector-based pedestrian navigation in cities*. *Nat Comput Sci* 1, 678–685 (2021). <https://doi.org/10.1038/s43588-021-00130-y>

Coutrot, A., Manley, E., Goodroe, S. et al. *Entropy of city street networks linked to future spatial navigation ability*. *Nature* 604, 104–110 (2022). <https://doi.org/10.1038/s41586-022-04486-7>

Goodwin, C. J. *A-mazing research*. *Monitor on Psychology*, 43(2). February 1, 2012. <https://www.apa.org/monitor/2012/02/research>

Kieseler M-L., Duchaine B. *Persistent prosopagnosia following covid-19*. *Cortex*, Volume 162, Pages 56–64, (May, 2023) (<https://doi.org/10.1016/j.cortex.2023.01.012>)

Lin et al. *On Variation in Mindfulness Training: A Multimodal Study of Brief Open Monitoring Meditation on Error Monitoring*. *Brain Sciences* 9/9:226 (2019) <https://doi.org/10.3390/brainsci9090226>

Maguire E., Gadian D., Johnsrude I., Frith C. et al. *Navigation-related structural change in the hippocampi of taxi drivers*. *PNAS*, 97 (8) 4398–4403 (2000) <https://doi.org/10.1073/pnas.070039597>

Mennenga SE, Baxter LC, Grunfeld IS, Brewer GA, Aiken LS, Engler-Chiurazzi EB, Camp BW, Acosta JJ, Braden BB, Schaefer KR, Gerson JE, Lavery CN, Tsang CW, Hewitt LT, Kingston ML, Koebele SV, Patten KJ, Ball BH, McBeath MK, Bimonte-Nelson HA. *Navigating to new frontiers in behavioral neuroscience: traditional neuropsychological tests predict human performance on a rodent-inspired radial-arm maze*. *Front Behav Neurosci*. (2014) doi: 10.3389/fnbeh.2014.00294

Rosenberg M, Zhang T, Perona P, Meister M. *Mice in a labyrinth show rapid learning, sudden insight, and efficient exploration*. *Elife*. (2021 Jul 1); doi: 10.7554/eLife.66175.

Schulte, T., Oberlin, B.G., Kareken, D.A., Marinkovic, K., Müller–Oehring, E.M., Meyerhoff, D.J. and Tapert, S. *How Acute and Chronic Alcohol Consumption Affects Brain Networks: Insights from Multimodal Neuroimaging*. *Alcohol Clin Exp Res*, 36: 2017–2027 (2012). <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1530-0277.2012.01831.x>

Shikauchi, Y., Ishii, S. *Decoding the view expectation during learned maze navigation from human fronto–parietal network*. *Sci Rep* 5, 17648 (2016). <https://doi.org/10.1038/srep17648>

Wais, P.E., Arioli, M., Anguera–Singla, R. et al. *Virtual reality video game improves high–fidelity memory in older adults*. *Sci Rep* 11, 2552 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-82109-3>

Wood, H. *A virtual Morris maze to assess cognitive impairment in Alzheimer disease*. *Nat Rev Neurol* 12, 126 (2016). <https://www.nature.com/articles/nrneurol.2016.16>

Zhao Min, Marquez, Andre G. 2013. *Understanding humans strategies in maze solving*. arXiv:1307.5713 (2013) (<https://doi.org/10.48550/arXiv.1307.5713>)

Zheng, L., Gao, Z., McAvan, A.S. et al. *Partially overlapping spatial environments trigger reinstatement in hippocampus and schema representations in prefrontal cortex*. *Nat Commun* 12, 6231 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41467-021-26560-w>

Artigos de divulgação:

Billok, Jennifer. *Walk the world's most meditative labyrinths*. *Smithsonian Magazine* (May, 2016).

Dalton, Ruth; Dalton, Nick. *How to scape a maze according to maths*. *The Conversation* ([//theconversation.com](http://theconversation.com)), (Enero. 2017).

Gholipour, Bahar. *Can You Diagnose Dementia from a Gaming App?* *Scientific American* (November, 2016).

Jabr, Ferris. *Cache Cab: Taxi Drivers' Brains Grow to Navigate London's Streets*. *Scientific American*. (December, 2011).

Lee, Albert. *How the Brain Makes Sense of Spaces, Large and Small*. Howard Hughes Medicine Institute (www.hhmi.org). (August, 2014).

Mittan, Kyle. *Ever been lost in grocery store? Researchers are closer to knowing why it happens*. *University Comuniactions*, The University of Arizona, (November, 2021).

Moser, May-Britt; Moser, Edvard I. *The Brain's GPS Tells You Where You Are and Where You've Come from*. *Scientific American*, (january, 2016).

Olson, Amy. *Dartmouth study finds impairments in face recognition and navigational abilities*. Deamouth University (home.darmouth.edu/news) (march, 2023).

Ratti, Carlo. *Cellphone data shows that people navigate by keeping their destinations in front of them – even when that's not the most efficient route*. *The Conversation* ([//theconversation.com](http://theconversation.com)). (october, 2021).

Sánchez, Carlos Manuel. *Rafael Yuste: el guardián del cerebro*. *XL Semanal*., 1782, diciembre 2021.

Sanders, Laura. *Where you grew up may shape your navigational skills*. *ScienceNews* (www.sciencenews.org), (April, 2022).

Singer, Emily. *Brains's positioning system linked to memory*. *Quanta Magazine* (www.quantamagazine.org) october, 2014.

Trafton, Ann. *How the brain navigates cities*. *MIT News Office*; Massachusetts Institute of Technology. (October, 2021).

Weismann, Emma. *Amazing maze: what science says about solving labyrinths*. *National Geographic* (www.nationalgeographic.com), july, 2014.

Wilke, Caroline. *Navigating a virtual world helped older adult's memory*. *Scientific American*, (june 1, 2021).

Yadav Geetha. *The brain's GPS—Unraveling the functioning of our navigation system*. *Bioradiations* (www.bioradiations.com). (November, 2014).

Páxinas web:

<https://www.alzheimersresearchuk.org/research/for-researchers/resources-and-information/sea-hero-quest/>

<https://www.telekom.com/en/corporate-responsibility/corporate-responsibility/sea-hero-quest-game-for-good-587134>

<https://labyrinthresourcegroup.org/what-are-labyrinths/>

<https://www.nobelprize.org/prizes/medicine/2014/summary/>

<https://www.nobelprize.org/prizes/medicine/1906/summary/>

ENGLISH

Index

Introduction	197
The labyrinths of the brain	202
The exhibition	232
Interactives	254
Solutionary	270
Bibliography	278

INTRODUCTION

Fernando Luis Fontes Blanco

Director MUNCYT

I remember as if it were today the first time I had the intense emotion and the privilege of holding in my hands the Aison Cup. It was in 2008 when, as a curator-doctor at the National Archaeological Museum, I was entrusted with coordinating the assembly of the temporary exhibition *Treasures of the MAN*, which was inaugurated on the occasion of the partial closure of the museum due to the refurbishment work being carried out on the building at the time.

This magnificent Attic red-figure kylix, dating from the mid-fifth century BCE, is decorated with the exploits of Theseus, the mythical hero who defeated the Minotaur, the hybrid, human-eating beast that the ambitious King Minos had imprisoned in the intricate labyrinth built in Knossos, Crete, by the architect Daedalus, and from which Theseus was to escape thanks to the thread provided by his lover, Princess Ariadne, daughter of Minos. The medallion of the cup depicts Theseus dragging the defeated Minotaur out of the labyrinth and offering it to Athena, the goddess after whom the young hero is named. This Greek ceramic cup is one of the masterpieces in the collection of the National Archaeological Museum, a World Heritage cultural asset and the painter's greatest work, to the extent that it is the only known work of his on which he wrote his signature.



Teseo, tras salir del laberinto, muestra a Atenea el Minotauro ya vencido.
Copa de Aison.

Técnica de figuras rojas.

420 a.C. Ática (Grecia).

©Museo Arqueológico Nacional. Inv. 11265.

Foto: Fernando Velasco Mora.

The myth of the Minotaur and the Labyrinth has captivated the mind of Western civilisation ever since. One of the most beautiful examples in the history of universal art is the *Suite Vollard*, a collection 100 of prints in neoclassical style engraved by Pablo Picasso, produced from 1930 onwards, and named after the art dealer who commissioned it, Ambroise Vollard. The suite is considered the most important and influential series of prints in modern art. The reproduction of an engraving of the *Suite Vollard*, created by the brilliant Malaga artist whose death anniversary we are now celebrating, has presided over my bedroom for many years and depicts a bacchic scene with the Minotaur attempting to seduce a nymph, before being defeated and vanquished by the hero.

Labyrinths have always been present in one way or another in our cultural imagination, whether in Roman mosaics depicting the struggle between Theseus and the hybrid beast, in the pavements of Romanesque and Gothic cathedrals or in Baroque, Neoclassical and Romantic palace gardens. Artists, designers and creators have taken up this motif and used it, as an example, in some of their creations. In literature, the presence of labyrinths in the work of Jorge Luis Borges is so important that the phrase “Borgesian labyrinth” was created as a literary simile. In *The Library of Babel*, a well-known inspiration for *The Name of the Rose*, he imagines the ultimate labyrinth of words: an infinite library containing all possible books and combinations of letters. Michael Ende’s *The Neverending Story* features the ‘Temple of a Thousand Doors’, an endless succession of rooms that are identical except for two doors defined by opposition: one huge and one tiny, one freezing and one burning. In *The General in His Labyrinth*, Gabriel García Márquez refers to the comparison of the labyrinth with the enigma of death, the labyrinth from which human beings can never emerge.

In the history of art, mention should be made of the allegorical work *The Labyrinth of Love* painted by Tintoretto between 1550 and 1560 (*Royal Collection Trust*, UK), and which depicts various biblical scenes related to earthly love in an imaginary landscaped labyrinth. Two centuries later, we find the impossible and hypnotic labyrinths of Giovanni Battista Piranesi's prints in his *Imaginary Prisons* (1745), from which there is no escape, and which are related, in the Contemporary Age, to the impossible labyrinths of M. C. Escher (1898-1972), a product of his overflowing imagination, which have captured the public of all ages since their creation. In the cinema, hedge mazes are present in many films such as Walt Disney's 1951 version of the classic *Alice in Wonderland*, in which Alice gets lost in the labyrinthine gardens of the Queen of Hearts and, also, the harrowing and terrifying chase through the hedge maze, in Stanley Kubrick's *The Shining* (1980), which has gone down in the history of the seventh art. The myth of the labyrinth, Theseus and Ariadne, is also present in Christopher Nolan's disquieting *Inception* (2010) and served as inspiration for Guillermo del Toro in the award-winning *Pan's Labyrinth* (2006). The impossible labyrinths of Piranesi and Escher in turn inspired Jim Henson's unclassifiable *Labyrinth* (2006), starring Jennifer Connelly and David Bowie, as well as Vincenzo Natali's claustrophobic and terrifying *Cube* (1997).

Labyrinthine games and pastimes have been a part of learning in Western culture since the late nineteenth and early twentieth centuries. In the 1960s and 1970s, board games or role-playing games called dungeon crawls or dungeon exploration games, began to become popular, the most famous being *Dungeons & Dragons* (1974) and *Hero Quest* (1989). Inevitably, video games also incorporated mazes in their design from the beginning: *Pac-man*, developed in the 1980s, was the most successful arcade game of all times and *Snake* gained enormous popularity when marketed in Nokia mobile terminals. I myself, during

my adolescence and part of my youth, spent hundreds of hours in endless games of *Wolfenstein 3-D*, *Doom* or *Quake*, chasing my friends through devious virtual mazes that I had previously memorised.

What I could not have imagined was that, years later, when, having just joined the management of the National Museum of Science and Technology, the technical staff at its headquarters in A Coruña mentioned to me the temporary exhibition they were working on, my passion for labyrinths, archaeology and art would come together with my passion for science. Working on this project, I learned the importance of labyrinths for the development of mathematical theories, scientific experiments and for their application to neuroscience and the study of the brain and mental illness. As chance would have it, this temporary exhibition project coincides in time with the celebration of the 'Cajal Year' dedicated to Santiago Ramón y Cajal (1852-1934), who is considered the father of neuroscience. In this way, and through the ages, myth and legend come together with reason and scientific knowledge, to take us, in a playful and exciting way, into the knowledge of our brain and, therefore, of ourselves.

THE LABYRINTHS OF THE BRAIN

F. Javier Cudeiro Mazaira

Exhibition curator

Men ought to know that from nothing else but the brain come joys, delights, laughter and sports, and sorrows, griefs, despondency, and lamentations.

And by this, in an especial manner, in a special way we acquire wisdom and knowledge, and see and hear, and know what are foul and what are fair, what are bad and what are good, what are sweet and what unsavoury. And by the same organ we become mad and delirious, and fears and terrors assail us.

The brain exercises the greatest power in man.

This is the interpreter to us of those things which emanate from the air.

(Hippocrates, Corpus Hippocraticum)

This text, written 2,500 years ago by Hippocrates, one of the fathers of medicine, could have been written in any of today's laboratories where modern scientists study the structure, function and pathology of the nervous system. It brings us closer to the idea that everything we are capable of doing, feeling and creating depends on the activity of a structure of little more than 1.4 kg, fundamentally composed of water, fat and proteins but which, because of its extraordinary structural complexity, because of the delicate and precise adjustment of the billions of pieces that compose it, is capable of creating an enormous variety of functions as fascinating as the perception of the world through the senses, emotions, symbolic language, oral communication, individual and social consciousness and even the yearning to transcend after death.

We are what our brain is in interaction with the world around us and, in some way, such an extraordinary result is due to the activity of the cells that constitute it and which form part of local circuits that, in turn, are integrated into areas that, in turn, make up an immense neuronal network. An intricate network of connections that cross, join, diverge and create a universe of paths for the activity of neurons to travel through a labyrinthine system of communication and, thus, we see, touch, be happy or unhappy, feel compassion, anger, love and recognise ourselves as individual entities with a past, living in the present and projecting into the future.

The brain is a labyrinth of labyrinths. A labyrinth due to its extremely complex structure, as well as to the infinite number of questions it raises about its function and its ailments. What we are is both a mystery and a source of mysteries that emerge day by day as we find ways out of the challenges offered to us by the brain, which continually opens doors to the unexplored and forces us to solve new challenges of knowledge. This is why the title and content of this exhibition could not be more pertinent. It will allow us to better understand the organ that makes us human and at the same time, using labyrinths as a metaphor for searching and overcoming, to understand a little more about its labyrinthine function and how this function can be improved through the use of labyrinths, even in the presence of illnesses such as dementia; a fortunate loop of interaction.

LABYRINTHS IN HISTORY

Labyrinths have been part of human history for millennia, playing a prominent role in various cultures and civilisations. From ancient myths and legends to architecture and art, labyrinths have captured people's imagination and left an enduring mark on our collective history (<https://www.worldhistory.org/Labyrinth/>).

The most famous and emblematic of all is undoubtedly the labyrinth of Knossos (Crete), associated with the legend of the Minotaur. According to Greek mythology, it was designed by the architect Daedalus and commissioned by King Minos to confine the Minotaur, a creature half man and half bull. The hero Theseus managed to enter the labyrinth and defeat the Minotaur, using a thread given to him by Ariadne to find the exit. This story has inspired numerous artistic representations over the centuries and become a symbol of defiance and overcoming.

Legend has it that when Minos of Knossos in Crete was competing with his brothers for the crown, he prayed to Poseidon to send him a white bull as a sign of the god's blessing of his cause. Minos was to sacrifice the bull to Poseidon but, enchanted by its beauty, he decided to keep it and sacrifice one of his lesser bulls. Poseidon, enraged by this ingratitude, made Minos's wife Pasiphae fall in love with the bull and mate with him. The creature she gave birth to was the Minotaur, a wild, out-of-control creature that fed on human flesh. Minos then commissioned Daedalus, the architect, to create a labyrinth to contain the monster. This was done, but the beast, although confined in the labyrinth, had to be fed continuously. For this purpose, Athens paid a very bloody tribute by sending several young men annually to Crete to be introduced into the labyrinth to appease the Minotaur's ferocity. Determined to end the suffering of his people, Theseus, son of King Aegeus, offered himself as one of the sacrifices in the hope of putting the beast to death.

Once in Crete, Theseus gained the attention of Ariadne, the daughter of Minos, who fell in love with him and secretly gave him a sword and a ball of thread. She told him to tie the thread at the opening of the labyrinth before entering it so that, after killing the Minotaur, he could follow it back to freedom. According to legend, Theseus killed the monster, saved the young men who had been sent with him and escaped from Crete with Ariadne.

In addition to Greek mythology, labyrinths also have a significant presence in other ancient cultures. In Egypt, for example, hieroglyphs and tomb engravings depicted labyrinths as symbols of transition and rebirth. In ancient Rome, labyrinths were built into mosaics and frescoes, and were used as spaces for reflection and meditation.

In Egypt, the most famous is the labyrinth of Hawara. This construction was so impressive that, according to Herodotus, it rivalled any of the wonders of the ancient world. The labyrinth enclosure was a part of a complex composed of multiple courtyards built at Hawara by Amenemhet III of the 12th Dynasty during the Middle Kingdom period (2040-782 BC). It was the most grandiose and intricate mortuary complex ever built at the time. Herodotus mentions it thus:

I saw it myself and it is indeed a wonder past words... It has twelve roofed courts with doors facing one another, six to the north and six to the south and in a continuous line. The passages through the rooms and the winding goings-in and out through the courts, in their extreme complication, caused us countless marvellings as we went through, from the court into the rooms, and from the rooms into the pillared corridors, and then from these corridors into other rooms again, and from the rooms into other courts afterwards. The roof of the whole is stone, as the walls are, and the walls are full of engraved figures, and each court

is set round with pillars of white stone, very exactly fitted. At the corner where the labyrinth ends there is, nearby, a pyramid 240 feet high and engraved with great animals. The road to this is made underground. (Histories, II.148).

<https://www.worldhistory.org/Labyrinth/>

As history progressed, labyrinths continued to have an impact on architecture and design. In the Middle Ages, Gothic cathedrals often featured labyrinthine designs in the pavement, which pilgrims walked through in search of penance and spirituality. The most famous labyrinth of this period is that of Chartres Cathedral, France.

During the Renaissance, interest in labyrinths was renewed, and labyrinthine gardens were created all over Europe. These, like the famous gardens of Versailles, offered visitors a playful and challenging environment to lose themselves in and explore. Labyrinths also became popular in books and literature of the time, such as Juan de Mena's *Labyrinth of Fortune* and Diego de San Pedro's *Labyrinth of Love*.

In our time, labyrinths have found new forms of expression and utility. From their inclusion in video games and puzzles to their use as a therapeutic tool in the rehabilitation and treatment of various health conditions, mazes continue to be the source of inspiration and fascination to which we have dedicated this exhibition.

KNOWLEDGE OF THE BRAIN THROUGHOUT HISTORY

The earliest evidence of brain research dates back to ancient Egyptian and Greek civilisations. The ancient Egyptians had a basic understanding of human anatomy and believed that the body was composed of several vital organs, including the brain. However, the Egyptians did not recognise the function and importance of the brain as we understand it today. They believed that the heart was the seat of the mind and personality. The brain was considered more of a gelatinous mass and was thus discarded during the mummification process. Its main function was believed to be to produce mucus and it was not attributed a significant role in cognition or thought. Despite this misperception about the brain, the ancient Egyptians were advanced in many aspects of medicine and anatomy. Their knowledge of the human body was fundamental in antiquity to the later development of medicine and anatomy.

However, it was during the Hellenistic period that the understanding of the brain in ancient Greece reached its peak. Hippocrates (460-370 BC), often considered the father of medicine, recognised the importance of the brain and claimed that it was the organ responsible for sensory and motor functions.

Herophilus and Erasistratus performed human dissections and studied the anatomy of the brain in detail. Herophilus (335-280 BC), who is considered the first anatomist, relied on cadaver dissection to describe major anatomical findings related to the nervous system. He discovered the meninges, the cerebellum and classified nerves into sensory and motor as well as voluntary and involuntary. He also formulated a hypothesis far that was ahead of his time: that intelligence resides in the brain. Aristotle (384-322 BC) claimed that this function was the responsibility of the heart and argued that the

brain was a system designed to cool the blood: wise men also err! Herophilus succeeded in differentiating nerves from blood vessels and ligaments, again beating Aristotle, who did not distinguish them from tendons. Erasistratus (304-250 BC), for his part, abandoned the humoral theory: he was a promoter of anatomy and physiology and an important figure in Alexandrian medicine in his golden age for his accurate descriptions of bodily anatomy.

During the Islamic Golden Age, which spanned roughly the 8th to 13th centuries, Arab scientists and physicians made significant advances in a number of fields, including medicine. Inspired by the Greek and Roman medical tradition, they conducted research in anatomy, physiology and pathology and recognised the importance of the brain in the functioning of the body and mind.

One of the most influential physicians of the time was Ibn al-Nafis, who lived in the 13th century. Ibn al-Nafis challenged the prevailing Galenic theory of the time and proposed that blood passed through the lungs rather than through the septum of the heart. Although his work focused more on blood circulation, he also mentioned the importance of the brain and its relationship to the nervous system.

Another prominent Arab physician was Ibn Sina, also known as Avicenna, who lived in the 11th century. Avicenna was the author of the masterpiece *The Canon of Medicine*, which became a fundamental text for centuries. In his work, Avicenna discussed the anatomy and function of the brain, describing brain structures and their relationship to cognitive and sensory faculties. In addition, the Arabs also made contributions in the field of ophthalmology, which was closely related to the study of the brain. They investigated the connection between vision and the brain and recognised the importance of the visual cortex in the interpretation of visual stimuli.

The Scientific Revolution that took place between the 16th and 18th centuries was a period of great scientific progress and transformation. During this time, major changes occurred in the way the natural world was understood and investigated, including the study of the human brain. This era was driven by critical thinking, systematic observation and the scientific method. Scholars adopted a more empirical attitude and moved away from tradition and philosophical speculation and, instead of relying solely on ancient theories and authorities, relied on experimentation to understand natural phenomena.

In the context of the study of the human brain, the Scientific Revolution brought new approaches and research methods in its wake. Scientists used anatomical dissection and direct observation to understand the structure and function of the human brain. This more practical and evidence-based approach allowed for further advancement of knowledge.

In the 16th century, Andreas Vesalius published his *De humani corporis fabrica*, a major work that represents a turning point in the study of human anatomy and thus of the brain. This extensive work (no less than ten volumes) laid the foundations of modern cerebral anatomy. However, it was not until the 17th century that brain research took a great leap forward with the pioneering work of scientists such as René Descartes and Thomas Willis. Descartes proposed the theory of mind-body dualism, suggesting that the mind and brain were separate but interconnected entities. Willis, on the other hand, conducted detailed studies on the anatomy and function of the brain, identifying important structures and laying the foundations of modern neuroanatomy. Also in this century, the invention of the microscope by Antonie van Leeuwenhoek allowed scientists to dramatically change the scale of their hitherto macroscopic observations and to study brain cells and tissues in unprecedented detail. This led to important discoveries in the structure and function of the brain, laying the foundations of

modern neuroanatomy and paving the way for one of the greatest geniuses in the history of science, Santiago Ramón y Cajal, to whom we shall refer below.

As early as the 18th century, Giambattista Morgagni, the author of the first book on pathological anatomy, proposed an extraordinary idea to the scientific community by relating, for the first time, diseases to alterations in normal anatomy; for example, he stated that apoplexy was caused by lesions in the cerebral vessels. In the 18th century, advances in physics and chemistry also influenced the study of the nervous system. For example, electricity and electromagnetic phenomena caught the attention of scientists, who began to explore the electrical basis of brain activity. Experiments such as those of Luigi Galvani on the electrical stimulation of muscles laid the foundations for a deeper understanding of the electrical activity of the brain, which, from the 20th century onwards, would yield extraordinary findings on the intimate functioning of neurons and the circuits they are a part of, opening up a great future for understanding fundamental processes such as inter-neuronal communication, the basis of multiple pathologies and brain plasticity, the substrate of memory, learning and neurorehabilitation.

The 19th century saw important advances in the study of the human brain. The development of staining techniques enabled scientists such as Camillo Golgi and Santiago Ramón y Cajal to examine slices of nerve tissue, analyse its intimate structure and understand that it is composed of individual cells that communicate with each other. Cajal was the great architect of this and other seminal discoveries, which we will discuss later when we talk about the genius of Petilla de Aragón.

As we enter the 20th century, we find that the study of the human brain benefited enormously from technological advances. From Hans

Berger's 1924 recording of the electroencephalogram, which allowed the measurement of electrical signals generated by the brain, opening the door to the study of brain waves and the electrical activity that would benefit from this, to the present day thanks to giant leaps in subjects such as electronics and computing.

In the following decades, brain research was boosted by the development of neuroimaging techniques, such as computed tomography and magnetic resonance imaging. These techniques drove key advances in medicine, helping to save millions of lives and allowing researchers to observe the brain in vivo and map specific regions involved in cognitive, emotional and motor functions (for a review of brain research throughout history, see Duque-Parra 2001; Blanco 2014).

CAJAL AND THE ORIGIN OF MODERN NEUROSCIENCE

Santiago Ramón y Cajal, considered the father of modern neuroscience, was a leading Spanish scientist who revolutionised our understanding of the nervous system. Through his research, he demonstrated the existence of individual nerve cells, known from very early on as “neurons”, laid the foundations for the general organisation of the brain and thereby opened the door to the systematic study of brain function. Cajal's importance in modern neuroscience lies in his fundamental contribution in three main areas: the use and refinement of Golgi staining (and the subsequent development of other complementary histological techniques), the theory of the neuron and the formulation of basic principles of brain plasticity.

1. First, Cajal masterfully employed and perfected the Golgi staining technique, which allowed detailed visualisation of neurons under the microscope. This whimsical technique, involving the

impregnation of nerve cells with silver salts, provided clear images of neuronal structures such as the soma, dendrites, dendritic spines and axons. Thanks to this technique, Cajal was able to describe and draw the complex connections and ramifications of neurons, offering us an unprecedented understanding of the organisation and architecture of the brain. This is where Cajal demonstrated his genius. Using static images observed through a very rudimentary monocular microscope, he was able to conceive a brain in motion. He found living logic in the cells and nerve fibres he observed, predicting how the structures he studied, and from which and towards which information flowed, would behave in vivo. His improved technique of Golgi staining (1888) became a fundamental tool in neuroscientific research worldwide.

2. Secondly, what we know as the “neuron theory” demonstrated by Cajal (1888) was a revolutionary idea that changed the way we understand the nervous system. Prior to his research, the prevailing belief held by Golgi (and virtually all researchers of his time, who were reticularists) was that nervous tissue was a continuous lattice (a network) and not made up of individual cells. However, Cajal, with his meticulous microscopic work, demonstrated that the nervous system is made up of separate, individually functional cells, the neurons, and described how they are connected to one another through the spaces that we know today as synapses. In addition and as an indissoluble complement to the “neuronal theory”, Cajal enunciated the so-called “law of dynamic polarisation of neurons” (1892-1895), in which, by studying fixed (and therefore static, dead) brains, he unravelled the direction in which nerve impulses should be oriented, and which he marked with the famous arrows in his drawings. He thus gave a functional content to his observations on structural connections: these arrows explained many of the functions

observed in brain physiology. With these crucial advances, Cajal laid the foundations for modern neuroscience and allowed us to understand how electrical impulses and chemical signals are transmitted through these cells, paving the way to the systematic study of brain functions and dysfunctions.

3. Thirdly, Cajal pioneered the formulation of basic principles of brain plasticity (1895). He observed that connections between neurons can be modified over time in response to experience and learning. This idea challenged the prevailing conception that the adult brain was static and immutable. Instead, Cajal defined it as a dynamic organ that can reorganise and adapt, an idea we know today as brain plasticity. His research laid the foundation for future studies on the brain's ability to change in response to environmental stimuli, injury, and disease.

In summary, the importance of Santiago Ramón y Cajal in modern neuroscience is immense. His contributions to neuron theory, the law of dynamic polarisation of neurons, brain development and the formulation of principles of brain plasticity have been fundamental to the current understanding of the nervous system. Cajal not only laid the foundations for the study of the structure and function of the brain but also laid the foundations for the subsequent development of many other areas of research. There is no doubt that without his enormous work and without the contributions of the most prominent members of the school he created, today's neuroscience would not be the same (for a better understanding of Cajal's work, his school and his legacy, see: de Castro et al. 2007; Fuster 2007; Swanson and Lichtman 2016; de Castro 2019; Nombela et al. 2021).

This year we celebrate the 150th anniversary of the birth of Don Santiago. Let these letters and the spirit of this exhibition serve as a tribute to the master and father of neuroscience who combined the

scientific greatness of his work with the equally great artistic quality of his drawings that have astonished the world (de Castro, 2021). In the words of Fernando de Castro (1896-1967), one of his most outstanding disciples, “with Cajal’s drawings, Science becomes Art” (De Felipe, 2006).

IMPORTANCE OF NEUROSCIENCE

The labyrinthine human brain, with its complexity and mystery, has been an object of fascination for centuries. However, it is only in recent decades that we have begun to unravel its secrets through advances in neuroscience, a discipline that combines biology, psychology, chemistry, physics, engineering and other areas of knowledge to study the structure, function and development of the nervous system. Through cutting-edge techniques such as neuroanatomy, neuroimaging, electrophysiology and genetics, neuroscientists have been able to investigate the neural basis of mental and cognitive processes, as well as neurological and psychiatric diseases.

Neuroscience, as a field of study that focuses on the functioning of the nervous system with the ultimate aspiration of understanding the human brain, plays a fundamental role in our understanding of the world. Through its scientific and multidisciplinary approach, neuroscience provides us with a unique and profound insight into the cognitive, emotional and behavioural processes that shape our experience and behaviour. It provides us with a solid foundation for understanding the most fundamental aspects of our existence, such as the nature of mind, consciousness and free will. For centuries, philosophers and thinkers have debated the relationship between the mind and the body, questioning whether the mind is simply a manifestation of brain functioning or whether it exists as a separate entity. Neuroscience has allowed us to address this question from a scientific perspective

by investigating the connections between brain activity and mental processes. Through techniques such as neuroimaging and the recording of neural activity, neuroscientists have been able to identify neural correlates of different mental and cognitive states, providing empirical evidence to support the idea that the mind is a product of the brain. This understanding has profound implications for our conception of identity, consciousness and personal responsibility (for a review of the history of neuroscience, its importance and its future, see Blanco 2014; Morris et al. 2016; Altimus et al. 2020).

In addition to addressing the nature of the mind, neuroscience is also essential to our understanding of perception and the construction of reality. Through the study of sensory perception, neuroscientists have revealed how the senses gather information from the environment and how the brain processes and organises that information to construct our conscious experience. Neuroscience has unravelled the neural mechanisms behind vision, hearing, touch and other senses, revealing how our perceptions can be influenced by internal and external factors. These findings help us understand how we perceive the world subjectively and how our reality may differ from objective reality. In addition, neuroscience has also investigated phenomena such as attention, memory and decision-making, providing a deeper understanding of how we process and use the information we receive.

Neuroscience has made important contributions to the study and understanding of neurological and psychiatric diseases. Through various research and scientific advances, it has provided crucial information on the causes, underlying mechanisms and possible treatment strategies for these diseases. Notable examples include the following:

1. Neurological diseases and psychiatric disorders: Neuroscience has played a key role in the understanding of neurological diseases such as Alzheimer's, Parkinson's and multiple sclerosis, among others. Using advanced brain imaging techniques, such as functional magnetic resonance imaging (fMRI) and positron emission tomography (PET), researchers have identified structural and functional changes in the brains of patients with these diseases. These findings have allowed for more accurate and earlier diagnosis, as well as the identification of potential biomarkers that can help monitor disease progression and assess the effectiveness of treatments (Waxman 2005).
2. Similarly, neuroscience has expanded our understanding of psychiatric disorders such as depression, anxiety, bipolar disorder and schizophrenia (Ross et al. 2015; Travis 2019). Through neuroimaging studies (Hendler et al. 2009), differences in brain structure, functional connectivity and neural activity have been identified in individuals with these disorders. These findings have helped to dispel the notion that psychiatric disorders are merely problems of the "mind" and have shown that they also have biological and neurochemical bases. In addition, it has contributed to the development of new therapeutic approaches focused on both neurology and psychiatry, some invasive, such as deep brain stimulation using electrodes implanted in the brain or focused ultrasound, and others non-invasive, such as neuromodulation (transcranial magnetic stimulation or current stimulation), which have proven to be very useful for understanding the functioning of the nervous system and for the treatment of pathologies refractory to the most common approaches, such as Parkinson's disease, essential tremor, depression or obsessive-compulsive disorder (Rossi et al. 2021; Baek et al. 2022; Neumann et al. 2023; Sheth et al. 2023).

3. Brain plasticity and rehabilitation: Neuroscience has revealed the brain's remarkable capacity for adaptation and neural reorganisation. This has important implications for the rehabilitation of patients with brain damage, such as those who have suffered a stroke or traumatic injury. Studies have shown that the brain can reallocate functions to undamaged areas and establish new neural connections in response to therapy and rehabilitation. These findings have led to the development of more effective and personalised rehabilitation approaches that harness brain plasticity to maximise recovery and improve patients' quality of life (Khan et al. 2016; Ferrazzoli et al. 2022).
4. Pharmacology and drug development: neuroscience has been instrumental in the development of drugs for the treatment of neurological and psychiatric diseases (Trist et al. 2014; Yeung et al. 2018). Advances in the understanding of drug mechanisms of action and neurotransmitter interactions have enabled the development of more targeted and effective treatments. In addition, neuroscience has contributed to the discovery of new therapeutic targets and has facilitated the evaluation of drug efficacy and safety through clinical and preclinical studies.
5. Another area where neuroscience is crucial is technology (Cometa et al. 2022). Understanding the fundamental principles of the human brain gives us the opportunity to develop new bio-inspired technologies. Neuroengineering, for example, seeks to apply neuroscientific knowledge to design systems and devices that can interact with the brain safely and effectively. These advances in neurotechnology have led to the development of mind-controlled bionic prostheses, brain-computer interfaces to assist people with disabilities, and neurostimulation devices to treat neuropsychiatric disorders. At the same time, neuroscience has also contributed to the field of artificial intelligence (Yan et al. 2023), enabling the

development of algorithms and artificial neural networks inspired by the human brain, which has led to significant advances in multiple fields such as addressing neurodegenerative diseases, speech recognition, natural language processing and computer vision (Cudeiro et al. 2019).

6. Education is another area where neuroscience can play a transformative role in the future of humanity (Dubinsky et al. 2019). Understanding how the brain learns can help us develop more effective teaching methods tailored to the individual needs of students. Cognitive neuroscience has revealed that the human brain has great plasticity and capacity for lifelong learning. This implies that educational methods should focus on stimulating students' cognitive and emotional capacities, as well as promoting a nurturing environment that supports optimal brain development. The integration of neuroscientific findings into educational practice contributes to increasing information retention, fostering creativity, and improving the overall quality of education.

BRAIN-ENHANCING MAZES

Mazes, like puzzles or virtual reality, have been shown to be beneficial in stimulating and improving cognitive and motor functions (Clemenson and Stark, 2015; Wais et al. 2021) and offer potential to help in the treatment of various diseases and disorders of the nervous system. Mazes are complex visuo-motor planning and problem-solving tasks that require finding a path from start to finish as quickly as possible. Mazes are non-verbal, easy to understand and use, relatively independent of educational level and suitable for a wide range of older adults and people with cognitive impairment. Maze tasks require interaction between cognitive and motor processes and are similar to complicated

everyday activities that require planning and problem solving. Maze solving requires multiple cognitive processes including the attentional, visuospatial, and executive function (planning, forecasting and problem solving), as well as the visuo-motor function (for a recent review, see Nef et al. 2020).

To date, maze tests have been used in some studies to assess cognitive and motor functioning and have demonstrated sensitivity in differentiating normal healthy ageing from mild cognitive impairment, Alzheimer's dementia and Parkinson's disease. In addition, maze-solving performance has been shown to be a strong predictor of daily functioning ability in older adults (Nef et al. 2020).

One of the areas where mazes have shown their usefulness is in the rehabilitation of patients with traumatic brain injuries (Nobre de Paula et al. 2017; Massetti et al. 2018). These injuries can affect motor function, memory, attention and other cognitive skills. Mazes provide a safe and structured environment for patients to practice motor and cognitive skills, improving coordination, balance and planning.

Furthermore, mazes, puzzles and virtual reality have also been used in the treatment of neurodegenerative diseases, such as dementias (Devanand et al. 2022; Petrella et al. 2023) and Parkinson's disease (Marotta et al. 2022) with inconclusive but promising results. These conditions are characterised by progressive loss of cognitive and motor functions. Mazes offer a stimulating environment that can help maintain and improve patients' cognitive function, memory and mobility.

In addition, mazes have attracted specialist attention for certain neuropsychiatric disorders, such as autism spectrum disorder (ASD) (Evasari et al. 2017; Shaughnessy 2022) and attention deficit hyperactivity disorder (ADHD) (<https://scopepsych.com.au/adhd/adhd-treatment-the-effectiveness-of-finger-labyrinths/>; <https://www.>

relax4life.com/labyrinth-articles/). These conditions are characterised by difficulties in sensory processing, attention, and emotional regulation. Mazes could provide sensory stimuli and cognitive challenges to help improve sensory integration, concentration, and emotional self-regulation. The ideas in this regard are very interesting, but there is clearly a long way to go to consolidate the preliminary findings.

It is important to emphasise that labyrinths as therapy should be designed and supervised by specialised health professionals. Each patient requires an individualised approach tailored to his or her needs and abilities. Therapeutic labyrinths can vary in complexity, size and design to suit the specific abilities and goals of each individual.

BRAIN MAPS FOR SOLVING MAZES

Whether you are in a large shopping centre or have wandered into the labyrinthine gardens of Versailles, you will need to get out at some point. To do so, you will have no choice but to use the fantastic possibilities offered by your brain. The first thing he will use is sensory information. Perhaps vision is the most relevant; it is through that one can scan the horizon and try to look for visual clues for the purposes of orientation and finding a way out. But we should not underestimate other senses, such as hearing: music or a bird's song can act as references; touch, through which we recognise the characteristics of the ground we are walking on; and even smell, because we seem to remember that a smell of freshly made caramel biscuits was wafting in from the left. As you may have guessed, it also needs memory, because it can store the small details that allow it to make decisions and compare the sensory information it is receiving. But it also has the invaluable help of several types of neurons located in the temporal lobe, roughly above the ears, which are part of two brain structures known as the hippocampus and the entorhinal cortex. These parts

of the brain are fundamental to memory, allowing us to establish our own location in space like a GPS. Research into how they work won a Nobel Prize in 2014. Let us take a look at the story of what happened.

The work of American scientist John O’Keefe has been fundamental in the field of neuroscience, especially with regard to the brain’s navigation system. His groundbreaking research on “place cells” in the hippocampus has provided a profound understanding of how the brain encodes and represents space and spatial location. In the 1970s, O’Keefe and his team conducted experiments using rats to investigate how the nervous system processes spatial information. They found that certain neurons in the rat hippocampus were activated in specific ways when the animals were placed in specific locations in the environment. These place cells showed distinctive patterns of activity that corresponded to specific spatial locations. They were signalling where in space, in the room or, in our case, in the shopping centre or the gardens of Versailles, we are located; they allow us to create and maintain a mental representation of the environment, which provides the basis for spatial navigation and place memory.

(<https://www.nobelprize.org/prizes/medicine/2014/summary/>).

Subsequently, two Norwegian scientists, the married couple composed of May-Britt and Edvard I. Moser, made some very interesting findings that perfectly complemented O’Keefe’s findings. The Mosers are renowned for their discovery of “grid cells”, a type of neuron that plays a crucial role in spatial navigation. These grid cells, located in the environment of the hippocampus and entorhinal cortex, have a neuronal activity that allows them to demarcate areas of space with a hexagonal structure. This enables the brain to create and remember a kind of internal map that helps us to navigate, orient ourselves in the environment and determine the edges of the space we are moving through. And not only that: due to the special characteristics of other

cells, we can also estimate the direction and speed of movement when we move through our spatial maps.

The work of these authors has not only contributed significantly to our understanding of brain function but has also had a major impact on a number of fields. Here are, in summary, some highlights of the importance of their work:

1. Understanding spatial cognition: it has provided a solid basis for understanding how the brain encodes and represents space. The discovery of place and grid cells has enabled significant advances in the field of spatial cognition and navigation.
2. Applications in robotics and artificial intelligence: the study of the brain's navigation system has influenced the development of algorithms and models used in robotics and autonomous navigation systems. The principles of spatial coding have been applied in the design of robots that can map and navigate unfamiliar environments.
3. Implications for brain disease research: understanding how the brain encodes and represents spatial information is relevant to the study of neurological and psychiatric disorders related to spatial memory, such as Alzheimer's and Parkinson's diseases. O'Keefe's and the Mosers' findings have provided a basis for investigating possible dysfunctions in the brain's navigation system in these diseases.

MAZES AND VIDEO GAMES TO THE RESCUE. *SEA HERO QUEST*, A GAME TO IMPROVE

This paper provides information on what has been the largest ever study in which the citizenry has participated: *Sea Hero Quest*.

The project was originally led by Deutsche Telecom, together with Glitchers, UCL, UEA and Alzheimer's Research UK. The project was launched to help scientists understand spatial navigation abilities across the lifespan and to collect bulk data to help them better understand what happens in dementias, such as Alzheimer's disease, in which orientation difficulties are highly characteristic. These data could also contribute to the early diagnosis of the disease. *Sea Hero Quest*, which is available to the public via mobile and in virtual reality, was the first mass-market game to allow citizens to participate in such large-scale scientific research.

In the game we must constantly plot navigational routes that allow us to reach our destination. The information obtained from the routes that players set, together with their epidemiological and sociological data (age, race, socio-economic status, etc.), is analysed by scientists, who have been able to identify patterns that have been very useful for understanding spatial navigation strategies and changes with ageing. Since its launch in 2016, more than four million people around the world have played *Sea Hero Quest*, providing scientists with data that traditional dementia research would have taken centuries to collect.

From the data collected, initial findings showed that spatial navigation skills begin to decline from the age of 19 and that there are fundamental differences in spatial navigation strategies between men and women. Men performed better than women, but the gender gap narrowed in countries with greater gender equality.

Moreover, in a paper that appeared in 2019, a team of scientists using the data obtained in the game studied the results of people genetically predisposed to Alzheimer's compared to those who were not. The results, published in the journal PNAS (Coughlan et al. 2019), show that people at genetic risk of developing Alzheimer's can be distinguished from those who are not at certain levels of the Sea Hero Quest game. The data are highly relevant because, as Professor Michael Hornberger, the principal investigator of the study, reminds us, between now and 2050 dementia will affect 135 million people worldwide and it is necessary to identify those affected as soon as possible to initiate early interventions and reduce their risk of developing dementia (<https://www.eurekalert.org/news-releases/757471>).

LABYRINTHS AND LIFE

Julio Cortázar writes in *Rayuela*, an extraordinary novel and changing labyrinth at the reader's choice, that "the world does not exist, it has to be created, like the phoenix". The essence of the brain as the builder of the reality we inhabit and the architect of what we are could not be summed up better in one sentence. Something similar happens with labyrinths, which are, of course, creations of our mind and effectively reflect the intricacies of thought. Labyrinths, which were born as an intellectual exercise to stop the Minotaur, reflect the complexity of the human spirit, the infinite paths of thought, observation, decision-making... And, in short, they function as a metaphor for the continuous search to which existence leads us.

In this exhibition, we offer rigorous yet entertaining information for all those who want to delve into information on the brain and labyrinths and gain a very new perspective on how they interact with each other. Visitors will be able to solve mazes while understanding what their brains do and experience how such an entertaining pastime can be

very beneficial for their neurons. In the end, they will probably solve a labyrinth that is part of life, which is none other than “Where are we going?” They will discover, like Juan Ramón Jiménez, that the answer is as simple as it is labyrinthine. This is what the poet tells us: “*Don’t run, go slowly, because where you have to go is to yourself only!*”

BIBLIOGRAPHY

Altimus CM, Marlin BJ, Charalambakis NE, Colón-Rodríguez A, Glover EJ, Izbicki P, Johnson A, Lourenco MV, Makinson RA, McQuail J, Obeso I, Padilla-Coreano N, Wells MF, for Training Advisory Committee. *The Next 50 Years of Neuroscience*. J. Neurosci. 2020; 40(1):101–106.

Baek H, Lockwood D, Mason EJ, Obusez E, Poturalski M, Rammo R, Nagel SJ, Jones SE. *Clinical Intervention Using Focused Ultrasound (FUS) Stimulation of the Brain in Diverse Neurological Disorders*. Frontiers in Neurol. 2022; 13, 880814.

Blanco, C. *Historia de la neurociencia. El conocimiento del cerebro y la mente desde una perspectiva interdisciplinar*. Editorial Biblioteca Nueva, S.L. (Colección Fronteras), 2014.

Clemenson GD, Stark CEL. *Virtual Environmental Enrichment through Video Games Improves Hippocampal-Associated Memory*. J. Neurosci. 2015; 35(49):16116 –16125.

Cometa A, Falasconi A, Biasizzo M, Carpaneto J, Horn A, Mazzoni A, Micera S. *Clinical neuroscience and neurotechnology: An amazing symbiosis*. iScience 2022; 25:105124.

Coughlan G, Coutrot A, Khondoker M, Minihane AM, Spiers H, Hornberger M. *Toward personalized cognitive diagnostics of at-genetic-risk Alzheimer's disease*. Proc Natl Acad Sci U S A 2019; 116(19):9285–9292.

Cudeiro D, Bolkart T, Laidlaw C, Ranjan A, Black M. Capture, Learning, and Synthesis of 3D Speaking Styles. *Proceedings IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)* 2019; 0101-10111.

de Castro F, López-Mascaraque L, de Carlos JA. Cajal: *Lessons on brain development*. Brain Res. Rev. 2007; 55:481–489.

de Castro F. Cajal and the Spanish Neurological School: *Neuroscience Would Have Been a Different Story Without Them*. Front. Cell. Neurosci. 2019; 13:187.

de Castro F. *El Arte que alumbró la moderna neurociencia: El dibujo científico de Cajal y sus discípulos*. Kranion 2021;16:146-58

DeFelipe J. *Cajal y sus dibujos: ciencia y arte*. Boletín SEBBM 2006; 148:16-33.

Devanand DP, Goldberg TE, Qian M, Rushia SN, Sneed JR, Andrews HF, Nino I, Phillips J, Pence ST, Linares AR, Hellegers CA, Michael AM, Kerner NA, Petrella JR, Doraiswamy PM. *Computerized Games versus Crosswords Training in Mild Cognitive Impairment*. NEJM Evid 2022; 1 (12).

Duque- Parra JE. *Elementos neuroanatómicos y neurológicos asociados con el cerebro a través del tiempo*. Rev. Neurol. 2002; 34: 282-6.

Dubinsky JM, Guzey SS, Schwartz MS, Roehrig G, MacNabb C, Schmied A, Hinesley V, Hoelscher M, Michlin M, Schmitt L, Ellingson C, Chang Z, Cooper JL. *Contributions of Neuroscience Knowledge to Teachers and Their Practice*. The Neuroscientist 2019; 25(5):394-407.

Evasary H, Maulidia Y, Crisantium Chaerunnisa PG. *The Effectiveness of Labyrinth Game in Improving Interpersonal Intelligence of Children with Autism*. Advances in Social Science, Education and Humanities Research 2017; 128:199-202.

Ferrazzoli D , Ortelli P, Iansek R, Volpe D. *Rehabilitation in movement disorders: From basic mechanisms to clinical strategies*. Handbook Clin. Neurol. 2022; 184:341-355.

Fuster JM. *Cajal y la neurociencia cognitiva cien años más tarde*. Quark 2007; 39-40: 59-65.

Hendler T, Bleich-Cohen M, Sharon H. *Neurofunctional view of psychiatry: clinical brain imaging revisited*. *Current Opinion in Psychiatry* 2009; 22:300–305.

Khan F, Amatya B, Galea MP, Gonzenbach R, Kesselring J. *Neurorehabilitation: applied neuroplasticity*. *J Neurol*. 2017; 264(3):603-615.

Marotta N, Calafiore D, Curci C, Lippi L, Ammendolia V, Ferraro F, Invernizzi M, de Sire A. *Integrating virtual reality and exergaming in cognitive rehabilitation of patients with parkinson disease: a systematic review of randomized controlled trials*. *European Journal of Physical and Rehabilitation Medicine* 2022; 58(6):818-26.

Morris RGM, Oertel W, Gaebel W, Goodwin GM, Little A, Montellano P, Westphal M, Nutt DJ, Di Luca M. *Consensus Statement on European Brain Research: the need to expand brain research in Europe*, 2015. *European J. Neurosci*. 2016; 44: 1919–1926.

Masseti T, Dias da Silva T, Brusque Crocetta T, Regiani Guarnieri R, Leal de Freitas B, Bianchi Lopes P, Watson S, Tonks J, Bandeira de Mello Monteiro C. *The Clinical Utility of Virtual Reality in Neurorehabilitation: A Systematic Review*. *Journal of Central Nervous System Disease* 2018; 10: 1–18.

Nef T, Chesham A, Schütz N, Botros AA, Vanbellingen T, Burgunder J-M, Müllner J, Müri RM and Urwyler P. *Development and Evaluation of Maze-Like Puzzle Games to Assess Cognitive and Motor Function in Aging and Neurodegenerative Diseases*. *Front. Aging Neurosci*. 2020; 12:87.

Neumann W-J, Horn A, Kühn AA. *Insights and opportunities for deep brain stimulation as a brain circuit intervention*. *Trends in Neurosci*. 2023; 46(6): 472-487.

Nobre de Paula J, Bandeira de Mello Monteiro C, Dias da Silva T, Miliani Capelini C, Del Cielo de Menezes L, Massetti T, Tonks J, Watson S, Nicolai Ré AH. *Motor performance of individuals with cerebral palsy in a virtual game*

using a mobile phone. Disability and rehabilitation. Assistive technology 2017; 13(6):1-5.

Nombela C, Fernández-Egea E, Giné E, Worbe Y, del Río-Hortega Bereciartu J and de Castro F. *Women Neuroscientist Disciples of Pío del Río-Hortega: the Cajal School Spreads in Europe and South America.* Front. Neuroanat. 2021; 15:666938.

Petrella JR, Michael AM, Qian M, Nwosu A, Sneed, Goldberg TE, Devanand DP, Doraiswamy PM. *Impact of Computerized Cognitive Training on Default Mode Network Connectivity in Subjects at Risk for Alzheimer's Disease: A 78-week Randomized Controlled Trial.* J. Alzheimers Dis. 2023; 91(1):483-494.

Ross D, Travis MJ, Arbuckle MR. *The Future of Psychiatry as Clinical Neuroscience Why Not Now?* JAMA Psychiatry 2015; 72(5):413-414.

Rossi S and members of the Consensus Statement from the IFCN Workshop on “Present, Future of TMS: Safety, Ethical Guidelines”, Siena, October 17-20, 2018, updating through April 2020. *Safety and recommendations for TMS use in healthy subjects and patient populations, with updates on training, ethical and regulatory issues: Expert Guidelines.* Clin Neurophysiol. 2021; 132(1): 269–306.

Shaughnessy N. *Learning with labyrinths: Neurodivergent journeying towards new concepts of care and creative pedagogy through participatory community autism research.* Cristal 2022; 10 (Special Issue): 127-150.

Sheth SA, Mayberg HS. *Deep Brain Stimulation for Obsessive-Compulsive Disorder and Depression.* Annu Rev Neurosci. 2023. doi: 10.1146/annurev-neuro-110122-110434. Epub ahead of print. PMID: 37018916.

Swanson LW and Lichtman JW. *From Cajal to Connectome and Beyond* Annu. Rev. Neurosci. 2016; 39:197–216.

Travis MJ. *Neuroscience and the Future of Psychiatry.* Focus 2019; 17:30–31.

Trist DG, Cohen A, Bye A. *Clinical pharmacology in neuroscience drug discovery: quo vadis?* Current Opinion in Pharmacol. 2014; 14:50–53.

Wais PE, Arioli M, Anguera-Singla R, Gazzaley A. *Virtual reality video game improves high-fidelity memory in older adults*. Scientific Reports 2021; 11:2552.

Waxman S. *From Neuroscience To Neurology Neuroscience, Molecular Medicine, and the Therapeutic Transformation of Neurology*. Academic Press, 2005.

Yan K, Li T, Lobo Marques JA, Gao J, Fong SJ. *A review on multimodal machine learning in medical diagnostics*. Mathematical Biosciences and Engineering 2023; 20(5): 8708–8726.

Yeung AWK, Tzvetkov NT, Atanasov AG. *When Neuroscience Meets Pharmacology: A Neuropharmacology Literature Analysis*. Front. Neurosci. 2018; 12:852.

<https://www.eurekalert.org/news-releases/757471>

<https://www.nobelprize.org/prizes/medicine/2014/summary/>

<https://www.relax4life.com/labyrinth-articles/>

<https://scopepsych.com.au/adhd/adhd-treatment-the-effectiveness-of-finger-labyrinths/>

<https://www.worldhistory.org/Labyrinth/>

The labyrinths of the brain
THE EXHIBITION

Miguel Barral Precedo

Exhibition coordinator

BY WAY OF INTRODUCTION

Labyrinths have always fascinated and captivated human beings; first as the protagonists of legends, rites and myths, such as that built by Daedalus in Crete, in which where he imprisoned the Minotaur, who would end up defeated by Theseus thanks to the help of Ariadne, who would provide him with the thread to escape from the labyrinth. Later on, they functioned as a religious symbol, an image of the tortuous journey to salvation, on the floors of churches and cathedrals, such as the great labyrinth of Chartres Cathedral (France), the largest of the Middle Ages. From the Renaissance onwards, they provided an ornamental element and source of amusement for the noble classes in their palace gardens, as is the case of the so-called “Labyrinth of Love” in Villa Pisani (Italy) and, with the irruption of science, as a mathematical challenge that gave rise to new branches such as topology and graph theory. In the 20th century, they became a popular pastime as well as a tool for studying how the brain works, first in animals and then in humans. And finally we reach the present day, when mazes are not only used for neuroscience research but also for the diagnosis of mental disorders and as a therapy for their treatment and rehabilitation.

It is precisely the latter field, that of neuroscientific research, which this catalogue aims to explore - in parallel to the exhibition it contains -. All this is done in a practical and playful way, with labyrinths that turn the reader into a subject of study and allow them to see for themselves the explanations and elements of information presented.

PLAYING AT STIMULATING THE MIND

Maze games became popular at the beginning of the 20th century and have been a classic form of entertainment since then. At the end of the century, they experienced a spectacular boom with the arrival of role-playing games and video games in which mazes became a fundamental element of the action.

In this respect, numerous scientific studies confirm that maze games increase cognitive stimulation, psychomotor skills, abstract thinking, and spatial perception at all ages.

The first revolution came in the 1970s with board games - dungeon crawl or dungeon exploration role-playing games. The most popular were *Dungeons & Dragons*¹ (1974) and *HeroQuest*² (1989). The next revolution came between the 1980s and the late 1990s with the two-dimensional labyrinth video games. *Pac-Man*³ was the most successful arcade game of all time. *Snake*⁴ became popular when it was pre-recorded on some mobile phones. *Wolfenstein 3D*⁵, *Doom*⁶ and *Quake*⁷ introduced three-dimensional mazes for PC-console and popularised multiplayer games where orientation skills were stimulated in maze-like environments.

1 Design: Gary Gygax and Dave Arneson. Company: Tactical Studies Rules (TRS).

2 Design: Stephen Baker. Company: Milton Bradley and Games Workshop.

3 Design: Tōru Iwatani. Company: Namco and Midway Games.

4 Design: Taneli Armanto. Company: Nokia.

5 Design: Alfonso John Romero and Tom Hall. Company: id Software.

6 Design: Alfonso John Romero, Tom Hall and John Carmack. Company: id Software.

7 Design: Alfonso John Romero and John Carmack. Company: id Software.

The downside is the violence that characterises some of them, which can encourage aggressive behaviour in some adolescents with underlying problems. They do have benefits provided that they are not the only means of recreational expansion, that they are combined with real social relations, that there is control of exposure times, that the recommended age is respected and that there is no previous pathology or mental problem.

HOW DO WE DEAL WITH A LABYRINTH?

Our ability to solve and/or navigate a maze is based on our ability to perceive environmental signals through our senses - especially sight - and on our brain's ability to process, store and integrate this information with other information already recorded in our brain's "hard drive".

In short, this is thanks to the combination of -mainly visual- sensory information and memory. If either fails, is impaired or compromised (in another task), our ability to cope with a maze is seriously diminished.

For example, the absence of visual references conditions and hinders our ability to orient ourselves in a maze. This is why it is easier to get lost or disorientated at night, especially in rural environments or in nature. It is also why our ancestors preferred to move around and forage for food during the day and take shelter after dark.

PROCESS (FROM LAT. *PROCESSUS*):

1. M. THE ACTION OF MOVING FORWARD

We have already seen that the senses and other sensory processing systems such as memory and logic work together when orienting ourselves in a labyrinth. But sometimes, depending on the specific circumstances, one or the other may prevail⁸. One very obvious example is logic mazes.

Invented by Robert Abbot in 1952, logic mazes are mazes that are visually very simple to solve, but in which a series of rules must be observed. This requires a greater processing capacity on the part of the brain. That is why we face them knowing beforehand that their difficulty does not lie in their layout (which, in fact, is usually very simple) but in the obligation to go through them in compliance with certain rules. And that is why we rely more on our processing capacity.

At other times we may also voluntarily prioritise one capacity - vision or brain processing - over the other. In fact, we do so without being aware of the need to devote one of them - vision or memory - to some more urgent or important task. For example, in our distant past, when our ability to cope with a maze-like environment was modelled: identifying possible signs of prey or predators or locating food sources. Or, in the present day, attending to a telephone conversation, chatting with someone, remembering important information, and so on.

⁸ Zhao Min, Marquez, Andre G. 2013. Understanding humans strategies in maze solving. arXiv:1307.5713 (2013) (<https://doi.org/10.48550/arXiv.1307.5713>)

THE SUPERMARKET MAZE

A case study and experiment to carry out on the way home is to enter a supermarket. Try walking through the aisles of the supermarket from the entrance to the fishery and then to the exit. Repeat the experience, but having to remember the products on the shopping list or reciting a song, tasks that keep the memory (partially) occupied.

THE INTERNAL NAVIGATOR OR “GPS” OF THE BRAIN

Now that it is clear that our ability to navigate a maze depends on our senses (primarily sight) and the computational capacity of our brain, it is time to work out how we orient ourselves in a maze-like environment. The answer is that we do so because our brains have a sophisticated spatial navigator: the brain’s internal positioning system or “GPS”.

WE LIVE SURROUNDED BY LABYRINTHS

Why is this internal positioning system so important? Because mazes can be a lot of fun when they are used as entertainment, for example, at the amusement park or in a video game. But not so much when they are present and interfere with our daily lives. And in truth, this is what they do: every day we face a multitude of labyrinthine scenarios through which we move using our internal navigator, our cerebral “GPS” (and sometimes also those of our car or our phone). When we move between the supermarket shelves or through the aisles of a large shopping centre; when we get on the metro and choose the ideal route or when we look for an alternative route to try to avoid traffic jams on our way home from work⁹. We live surrounded by mazes.

THE BRAIN’S INTERNAL NAVIGATOR: COMPONENTS AND USER GUIDE

How does our spatial positioning system work? The internal positioning system or “brain GPS” consists of two elements or functionalities: a system for identifying salient signals and locating them, and a universal reference system for getting around.

The reference system is a grid (analogous to the meridian and parallel system) and is always the same in any environment: it is universal. The brain superimposes it on the

⁹ Bongiorno, C., Zhou, Y., Kryven, M. et al. Vector-based pedestrian navigation in cities. *Nat Comput Sci* 1, 678–685 (2021). <https://doi.org/10.1038/s43588-021-00130-y>

setting we are facing in order to have a guide that allows us to know at all times where we are and in what direction and how far we are moving through that environment.

Once the setting has been integrated into this reference system, the brain identifies particular landmarks and places them in one of these boxes.

In this way, and with these landmarks as references, we can estimate in which direction we are moving and the distance: how many squares we have advanced and in which direction. And vice versa, how many squares and in which direction we have to move to reach a specific landmark, such as a church that we want to visit and whose bell tower we can see in the distance.

All these estimations are made by the brain thanks to different types of specialised neurons: thus, there are neurons that are activated according to the direction our head is pointing in, where we are looking, and in this way the brain knows in which direction we are moving; while other types of neurons estimate the rhythm or speed at which we are moving and, on this basis , the distance travelled.

WE HAVE THE BRAINS OF TOURISTS... AND ALSO, THE MEMORY OF TOURISTS.

The truth is that our brain uses a navigation system that works in a similar way to the maps in travel guides¹⁰. Because when we drive through an already familiar environment, our brain accesses its archive of mental maps to retrieve that particular map with the exact positions of the landmarks highlighted in that setting and, on the basis of these, recognise where we are and how we have to move to get to the desired destination. The difference is that we no longer identify and fix the position of particular landmarks as we discover them, but we start with this information in mind, which allows us to move faster and with greater certainty, as we make a more accurate estimate of our position at any given moment.

This apparent certainty is also what sometimes plays tricks on us when the pieces of the setting change unexpectedly¹¹. For example, and going back to our supermarket case study, when the centre we go to normally changes the location of the different types of products or the distribution on the shelves from one day to the next¹².

10 Moser, May-Britt; Moser, Edvard I. *The Brain's GPS Tells You Where You Are and Where You've Come from*. *Scientific American*, (January, 2016).

11 Shikachu, Y., Ishii, S. *Decoding the view expectation during learned maze navigation from human fronto-parietal network*. *Sci Rep* 5, 17648 (2016). <https://doi.org/10.1038/srep17648>.

12 Zheng, L., Gao, Z., McAvan, A.S. et al. *Partially overlapping spatial environments trigger reinstatement in hippocampus and schema representations in prefrontal cortex*. *Nat Commun* 12, 6231 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41467-021-26560-w>

A DISCOVERY THAT DESERVES A NOBEL PRIZE (OR EVEN TWO)

The discovery of how this internal “GPS” works gained recognition with the 2014 Nobel Prize in Medicine and Physiology awarded its discoverers: John O’Keefe, May Britt Moser and Edvard I. Moser¹³.

This milestone and distinction has its origins in another discovery: that of neurons by Santiago Ramón y Cajal thanks to a technique developed by Camilo Golgi, which also won the 1906 Nobel Prize for Medicine and Physiology¹⁴.

¹³ NobelPrice.org. The 2014 Nobel Price in Physiology or Medicine

¹⁴ NobelPrice.org. The 1906 Nobel Price in Physiology or Medicine

THE LABYRINTHS OF NEUROSCIENCE

Why is it so important to understand how the brain's internal navigator works in detail? Because mazes then become a tool for the diagnosis and/or treatment of mental illnesses and disorders. Thus, as neuroscience has delved deeper into how the brain copes with, processes and solves mazes, they have become an increasingly applied tool¹⁵, not only in brain research but also for diagnosing neurological disorders and as a therapy for treating them¹⁶.

¹⁵ Goodwin, C. J. A-mazing research. *Monitor on Psychology*, 43(2). February 1, 2012. <https://www.apa.org/monitor/2012/02/research>

¹⁶ Mennenga SE, Baxter LC, Grunfeld IS, Brewer GA, Aiken LS, Engler-Chiurazzi EB, Camp BW, Acosta JI, Braden BB, Schaefer KR, Gerson JE, Lavery CN, Tsang CW, Hewitt LT, Kingston ML, Koebele SV, Patten KJ, Ball BH, McBeath MK, Bimonte-Nelson HA. Navigating to new frontiers in behavioral neuroscience: traditional neuropsychological tests predict human performance on a rodent-inspired radial-arm maze. *Front Behav Neurosci*. (2014) doi: 10.3389/fnbeh.2014.00294.

FOLLOW THAT TAXI!

One of the breakthroughs in this regard came in 2011 when a study¹⁷ showed that London taxi drivers had more development in the brain region storing the information and memories on which our navigation system depends. And also that this increased brain capacity was a consequence of practice. The more experienced taxi drivers had a greater capacity. In other words, this capacity can be trained. Better still, the ability to find one's way around increases with training. This discovery opened the door to its application as a brain therapy.

MEMORABLE MAZES

Another recent study¹⁸ conducted in 2021 has confirmed that navigating virtual maze environments improves the long-term memory of elderly individuals. This opens the door to its future application to alleviate, slow down and combat age-related memory loss and as a possible treatment to help with neurodegenerative problems such as Alzheimer's disease¹⁹. To reach this conclusion, the authors of the research developed the virtual reality game

17 Maguire E., Gadian D., Johnsrude I., Frith C. et al. Navigation-related structural change in the hippocampi of taxi drivers. PNAS, 97 (8) 4398-4403 (2000) <https://doi.org/10.1073/pnas.070039597>

18 Wais, P.E., Arioli, M., Anguera-Singla, R. et al. *Virtual reality video game improves high-fidelity memory in older adults*. *Sci Rep* 11, 2552 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-82109-3>

19 Rubtcova, M. y Pavenkov, O. (2017) *International Conference on Inclusive Education-2017*, University of South Australia School of Education, October 27th-29th 201

Labyrinth, which immerses the individual in realistic and novel environments and scenarios.

SEA HERO QUEST: A RECREATIONAL COMPUTER APPLICATION TO DIAGNOSE ALZHEIMER'S DISEASE

Difficulty with spatial navigation is one of the common symptoms of the early stages of Alzheimer's and other dementias. Understanding how it manifests itself would allow these diseases to be diagnosed in their earliest stages²⁰. *Sea Hero Quest* is an orienteering game designed as a mobile app by neuroscientists at the University of East Anglia (UK) in collaboration with University College London, CNRS and other leading universities. The aim was to collect a huge volume of data from a large number of people of all ages, ethnicities, genders, backgrounds, etc. And from this data, to determine how our ability to navigate evolves over time and what is the normal age-related decline. This in turn will allow an earlier diagnosis of diseases when the patient's signs of loss exceed (or manifest themselves differently from) what is normal for their age group.

20 Wood, H. *A virtual Morris maze to assess cognitive impairment in Alzheimer disease*. *Nat Rev Neurol* 12, 126 (2016). <https://doi.org/10.1038/nrneurol.2016.16>.

ARE YOU FROM A VILLAGE OR THE CITY?

One of the first evidences reached from the data collected by the game thanks to citizen participation - announced in March 2022 - is that people living in urban environments have a worse orientation ability (they seem to have a less effective internal navigation system) than people living in rural environments²¹. The more grid-like or planned (wide, straight streets) the layout of the cities or neighbourhoods in which they live, the worse it is. In short, according to how more or less labyrinthine is the configuration of their environment.

WHAT IS THE LABYRINTHINE CONFIGURATION OR “LABYRINTHINESS”?

In the 1980s, architectural design expert Bill Hillier defined the term labyrinth configuration or “labyrinthiness” of a place (neighbourhood, city, etc.) by how easy or affordable it was to move through it to reach the desired destination²². He introduced a scale of 0 to 10 of increasing difficulty and pointed to the Barbican Estate (London) as an example of maximum “labyrinthiness”, a complex of buildings built on several levels and featuring numerous entrances and

21 Coutrot, A., Manley, E., Goodroe, S. *et al.* *Entropy of city street networks linked to future spatial navigation ability.* *Nature* 604, 104–110 (2022). <https://doi.org/10.1038/s41586-022-04486-7>.

22 Yamu, Claudia, Akkelies van Nes, and Chiara Garau. *Bill Hillier's Legacy: Space Syntax—A Synopsis of Basic Concepts, Measures, and Empirical Application.* *Sustainability* 13, no. 6: 3394. (2021). <https://doi.org/10.3390/su13063394>.

corridors, which for many makes it a kind of concrete labyrinth. To help visitors reach their destination, the routes are marked with coloured lines on the floor and signs.

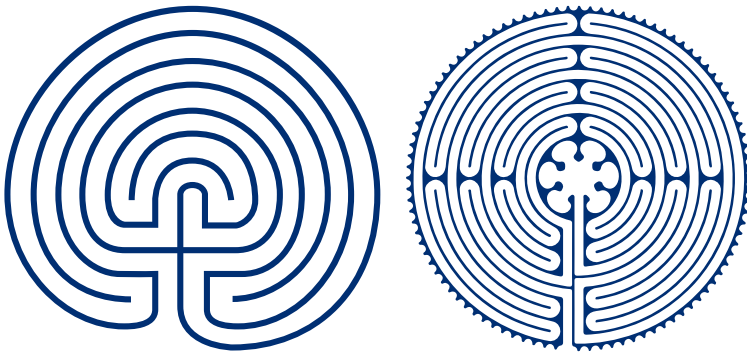
COVID MAY AFFECT OUR SPATIAL NAVIGATOR

Persistent COVID can cause neurological abnormalities such as so-called brain fog characterised by memory problems, lack of mental clarity and inability to concentrate. A recent study²³ published in March 2023 links persistent COVID with difficulties in spatial navigation and the development of prosopagnosia or face blindness, a rare disorder of the visual system that prevents the recognition of familiar faces and which has been in the media because the famous actor Brad Pitt has admitted to suffering from it. Localisation difficulties affect the ability to locate a familiar place in relation to one's current location. For example, the different sections of one's supermarket (greengrocers, butchers, freezers, etc.) or the parking space where the car is parked.

²³ Kieseler M-L., Duchaine B. *Persistent prosopagnosia following COVID-19*. Cortex, Volume 162, Pages 56-64, (May, 2023) (<https://doi.org/10.1016/j.cortex.2023.01.012>).

MENTAL DISCONNECTION

Finally, another recent therapeutic application of labyrinths takes us back to their “origin”. Since ancient times and during the Middle Ages, labyrinths were understood, above all, as a place or a tool that offered an invitation to meditation (and spirituality) when walking through them. Today, this use has been revived and labyrinths are used to treat anxiety and stress. In particular, small wall designs are used, and these are run with one’s finger in order to achieve a state of mental relaxation. Full concentration on this task helps to free the mind from other worries, urgencies, and anxieties²⁴.



²⁴ Lin et al. *On Variation in Mindfulness Training: A Multimodal Study of Brief Open Monitoring Meditation on Error Monitoring*. *Brain Sciences* 9/9:226 (2019) <https://doi.org/10.3390/brainsci9090226>.

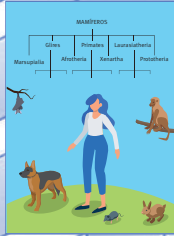
A COMIC BOOK FOR DELVING INTO THE WORKINGS OF THE BRAIN'S INTERNAL NAVIGATOR

WE SEEM TO BE INSIDE A
LABYRINTH. WILL YOU
JOIN US?

ENTER IF YOU WANT TO KNOW
MORE ABOUT HOW THE BRAIN'S
INNER NAVIGATOR WORKS.

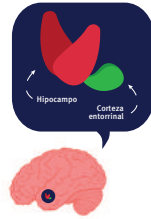


THE ABILITY TO ORIENT THEMSELVES IN NATURE IS FUNDAMENTAL FOR LIVING BEINGS WHEN IT COMES TO FINDING FOOD, SHELTER AND SO ON.

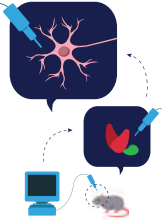


IN FACT, A COMMON NAVIGATION SYSTEM HAS BEEN DISCOVERED IN THE BRAINS OF MAMMALS: BATS, RODENTS, MONKEYS, PRIMATES... AND HUMANS.

AN INTERNAL POSITIONING SYSTEM THAT IS LOCATED IN TWO SPECIFIC AREAS OF THE BRAIN: THE HIPPOCAMPUS AND THE ENTORHINAL CORTEX, WHICH ARE CLOSELY CONNECTED TO EACH OTHER.



SCIENTISTS HAVE DISCOVERED HOW AND ON WHAT BASIS THIS INTERNAL POSITIONING SYSTEM OR "GPS OF THE BRAIN" WORKS BY STUDYING THE NEURAL ACTIVITY OF THESE AREAS IN RODENTS' BRAINS.



FIRST, A PARTICULAR TYPE OF NEURONS - WHICH THEY CALLED "PLACE CELLS" - WAS DISCOVERED IN THE HIPPOCAMPUS.



THEY ARE ACTIVATED BY RECEIVING EXTERNAL INFORMATION FROM THE SENSES, ESPECIALLY SIGHT, WHEN WE PASS THROUGH A SPECIFIC PLACE. THEY CREATE MARKS IN SPACE THAT WE REMEMBER TO GUIDE US...

...AND, JOINTLY, THEY FORM A PHYSICAL MAP OF THE ENVIRONMENT WHICH SERVES AS THE BASIS FOR KNOWING WHERE WE ARE AT ALL TIMES.



EVERY TIME WE CHANGE SCENE AND MOVE TO A NEW ONE, THESE NEURONS GENERATE A NEW UNIQUE PHYSICAL MAP.

AND EACH OF THESE MAPS ARE STORED IN OUR MEMORY AND BECOME PART OF OUR LOCAL ARCHIVE OF MAPS.



THUS, WHEN WE VISIT A SCENE AGAIN, THE BRAIN RETRIEVES THE CORRESPONDING MAP AND DOES NOT NEED TO GENERATE IT AGAIN. THAT'S WHY WE MOVE MORE FREELY AND SAFELY IN FAMILIAR ENVIRONMENTS.

LATER ON, ANOTHER TYPE OF NEURONS WAS IDENTIFIED IN THE ENTORHINAL CORTEX. AS WE MOVE THROUGH AN ENVIRONMENT, THESE NEURONS ARE ACTIVATED ONE BY ONE AT REGULAR INTERVALS, EVERY CERTAIN DISTANCE. UNLIKE "PLACE CELLS", THEY DO NOT CORRESPOND TO A SPECIFIC PLACE, TO SOMETHING THAT CAPTURES OUR ATTENTION, BUT RATHER ARE LIKE THE BREADCRUMBS THAT TOM THUMB REGULARLY DROPPED TO MARK THE WAY.

MOREOVER, THE BRAIN NOT ONLY RETRIEVES THE MAP, BUT ALSO TAKES ADVANTAGE OF EACH VISIT TO THAT SCENE TO REVISE, UPDATE AND COMPLETE IT. THAT IS WHY THE MORE TIMES WE VISIT A PLACE, THE EASIER IT IS FOR US TO FIND OUR WAY AROUND, SINCE WE HAVE MORE REFERENCES.

THESE NEURONS ARE CALLED "GRID CELLS" BECAUSE WHAT THEY DO IS SIGNAL OR PLACE MARKS IN SPACE AND ALL TOGETHER, THEY FORM OR GENERATE A FRAME OF REFERENCE. TO PUT IT SIMPLY: WHAT THESE NEURONS DO IS TO FRAME THE SCENE IN A GRID, A SYSTEM OF COORDINATES, SOMETHING SIMILAR TO THE GRIDS ON STREET MAPS.

WHAT IS MOST INTERESTING IS THAT THE NEURONS THAT DELIMIT EACH CELL COMMUNICATE WITH EACH OTHER, AND THIS ALLOWS THE BRAIN TO KNOW WHICH SECTOR WE ARE IN AT ANY GIVEN MOMENT, WHEN WE MOVE FROM ONE TO ANOTHER, AND WHICH ONE WE ENTER.

UNLIKE "PLACE CELLS" THAT GENERATE A NEW PHYSICAL MAP UNIQUE TO EACH SCENE, "GRID CELLS" ALWAYS GENERATE THE SAME COORDINATE SYSTEM OVER ALL SCENES. JUST AS STREET MAPS USE THE SAME GRID SYSTEM FOR ALL CITIES.

THIS REFERENCE SYSTEM ALLOWS THE BRAIN TO GRID OUR MOVEMENT IN SPACE AND TRACE THE ROUTE OR PATH WE TRAVEL.

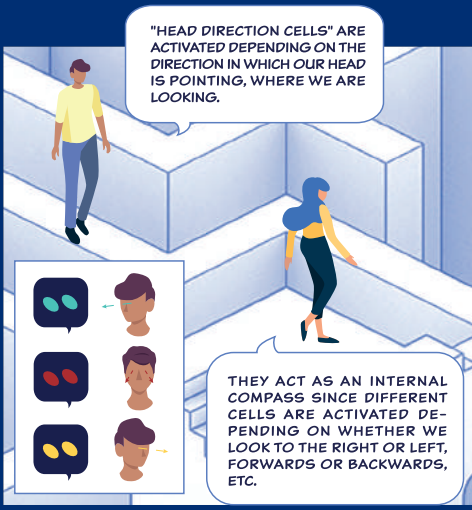
"GRID CELLS" ADJUST THE SIZE OF THE GRIDS ACCORDING TO THE SIZE OF THE SCENE - INFORMATION THEY RECEIVE FROM THE VIEW - JUST AS ON STREET MAPS, THE SIZE OF THE GRIDS (THEIR SCALE) VARIES ACCORDING TO THE SIZE OF THE URBAN NUCLEUS ON THE MAP.

THANKS TO THIS ABILITY TO SIZE GRIDS, THEY ARE FUNCTIONAL IN ANY SCENE: WHETHER IT IS A ROOM OR A PARK, THE BRAIN CAN FOLLOW OUR MOVEMENT BY THE SEQUENTIAL ACTIVATION OF THE DIFFERENT GRIDS.

BUT IF THESE "GRID CELLS" DO NOT RESPOND TO SPECIFIC EXTERNAL STIMULI, BUT INSTEAD ARE ACTIVATED REGULARLY, HOW DO THEY KNOW WHEN TO ACTIVATE?

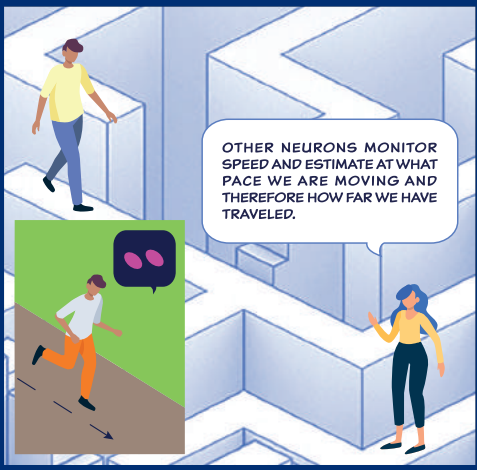
THE RESPONSE IS FOUND IN TWO OTHER TYPES OF NEURONS ALSO PRESENT IN THE ENTORHINAL CORTEX.

"HEAD DIRECTION CELLS" ARE ACTIVATED DEPENDING ON THE DIRECTION IN WHICH OUR HEAD IS POINTING, WHERE WE ARE LOOKING.



THEY ACT AS AN INTERNAL COMPASS SINCE DIFFERENT CELLS ARE ACTIVATED DEPENDING ON WHETHER WE LOOK TO THE RIGHT OR LEFT, FORWARDS OR BACKWARDS, ETC.

OTHER NEURONS MONITOR SPEED AND ESTIMATE AT WHAT PACE WE ARE MOVING AND THEREFORE HOW FAR WE HAVE TRAVELED.



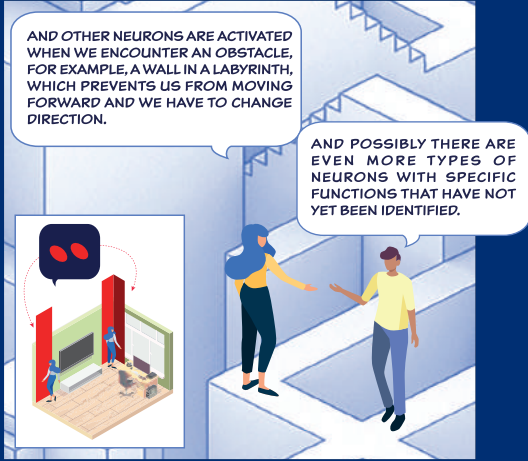
THIS IS EASY TO UNDERSTAND SINCE WE CAN ALL TELL IF WE ARE MOVING FAST OR SLOW, EVEN WITH OUR EYES CLOSED, WITHOUT THE NEED FOR EXTERNAL INFORMATION.

AND WE ALSO KNOW IN WHICH DIRECTION OUR HEAD IS POINTING EVEN IF OUR EYES ARE CLOSED. THE BRAIN KNOWS HOW TO ESTIMATE HOW FAST WE ARE MOVING AND IN WHICH DIRECTION OUR HEAD IS POINTING IN ANY GIVEN CIRCUMSTANCE AND ENVIRONMENT.



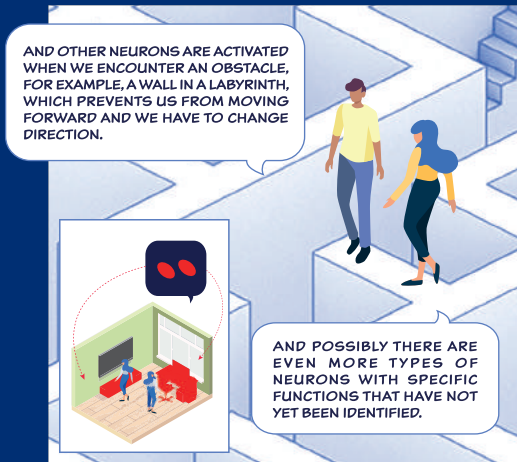
AND OTHER NEURONS ARE ACTIVATED WHEN WE ENCOUNTER AN OBSTACLE, FOR EXAMPLE, A WALL IN A LABYRINTH, WHICH PREVENTS US FROM MOVING FORWARD AND WE HAVE TO CHANGE DIRECTION.

AND POSSIBLY THERE ARE EVEN MORE TYPES OF NEURONS WITH SPECIFIC FUNCTIONS THAT HAVE NOT YET BEEN IDENTIFIED.



AND OTHER NEURONS ARE ACTIVATED WHEN WE ENCOUNTER AN OBSTACLE, FOR EXAMPLE, A WALL IN A LABYRINTH, WHICH PREVENTS US FROM MOVING FORWARD AND WE HAVE TO CHANGE DIRECTION.

AND POSSIBLY THERE ARE EVEN MORE TYPES OF NEURONS WITH SPECIFIC FUNCTIONS THAT HAVE NOT YET BEEN IDENTIFIED.



ALL THESE NEURONS ARE CONNECTED TO EACH OTHER. IN THIS WAY, THE BRAIN'S POSITIONING SYSTEM, OUR "INTERNAL GPS", INTEGRATES ALL THIS INFORMATION AND PROCESSES IT...

...AND IN DOING SO, IT ENABLES US TO ORIENT OURSELVES EFFECTIVELY IN THE ENVIRONMENT IN WHICH WE ARE MOVING, WHETHER IT IS FAMILIAR OR UNFAMILIAR, CLEAR OR MAZE-LIKE.



Play and see for yourself
INTERACTIVES

LABYRINTH IN THE DARK

The absence (or decrease) of visual references conditions and compromises our ability to orientate ourselves in a labyrinth.

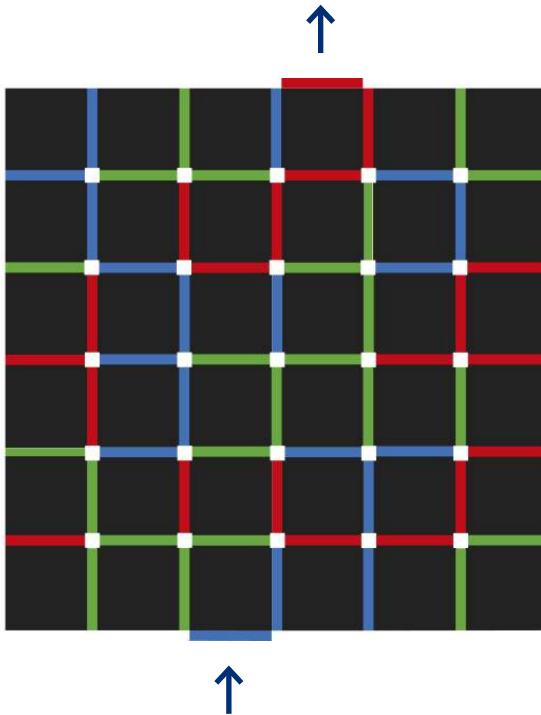
BEFORE TURNING THE PAGE:

To face this labyrinth, look for a dark or darkened room to check how the loss of vision compromises our ability to solve a labyrinth.



PROCESS: ACTION OF GOING FORWARD

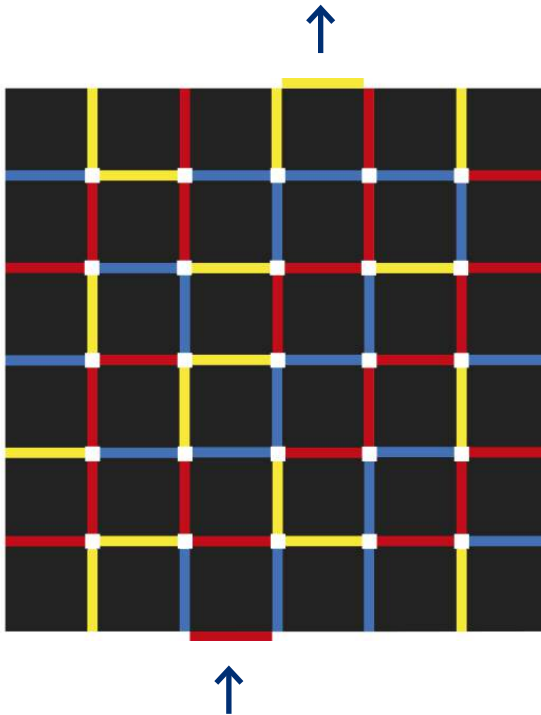
Test your brain processing skills with these logic mazes.



Labyrinth 1

RULE: Take three steps on the blue, then switch to a new color and repeat. You must change color every third step. Keep moving forward (do not go back). If you cannot take three complete steps in one direction, try a different direction. You must exit on a third step (red).

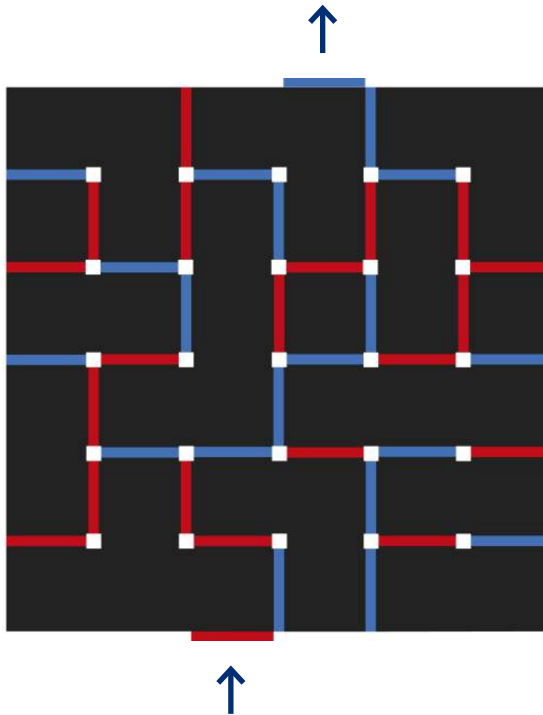
PROCESS: ACTION OF GOING FORWARD



Labyrinth 2

RULE: Always perform the sequence red - blue - yellow. Repeat the sequence strictly to reach the end: red - blue - yellow, red - blue - yellow...

PROCESS: ACTION OF GOING FORWARD

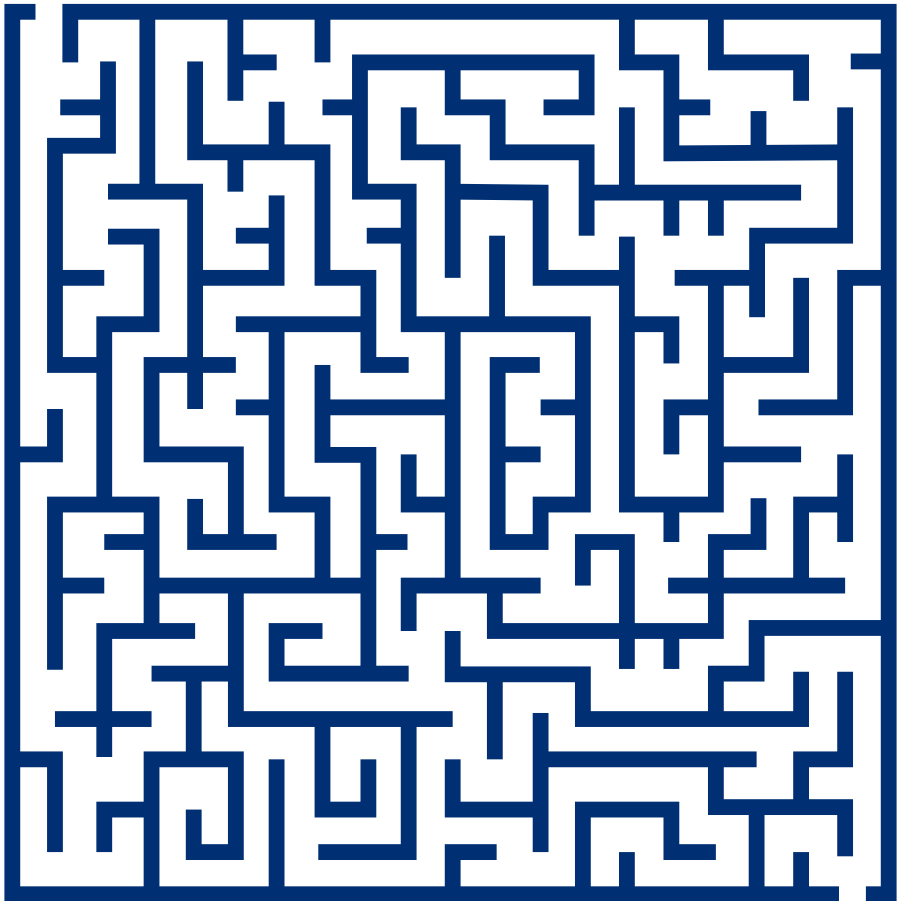


Labyrinth 3

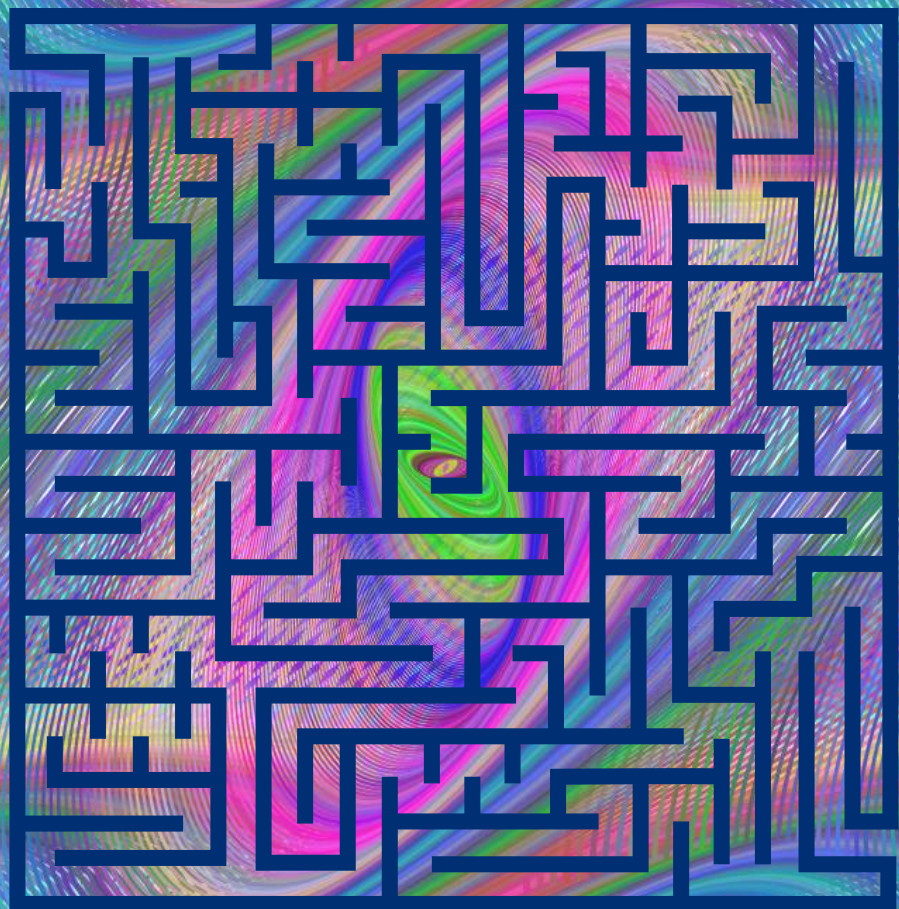
RULE: Pass over the red and then over the blue in strict alternate series: red - blue, blue - red, red - blue... You can move freely within each area.

FATAL DISTRACTION

The presence of a mirror and the distraction that this introduces in our brain (which is partially busy processing the visual information of the reflection) is enough to make it a little more difficult for us to find our way out of the maze.

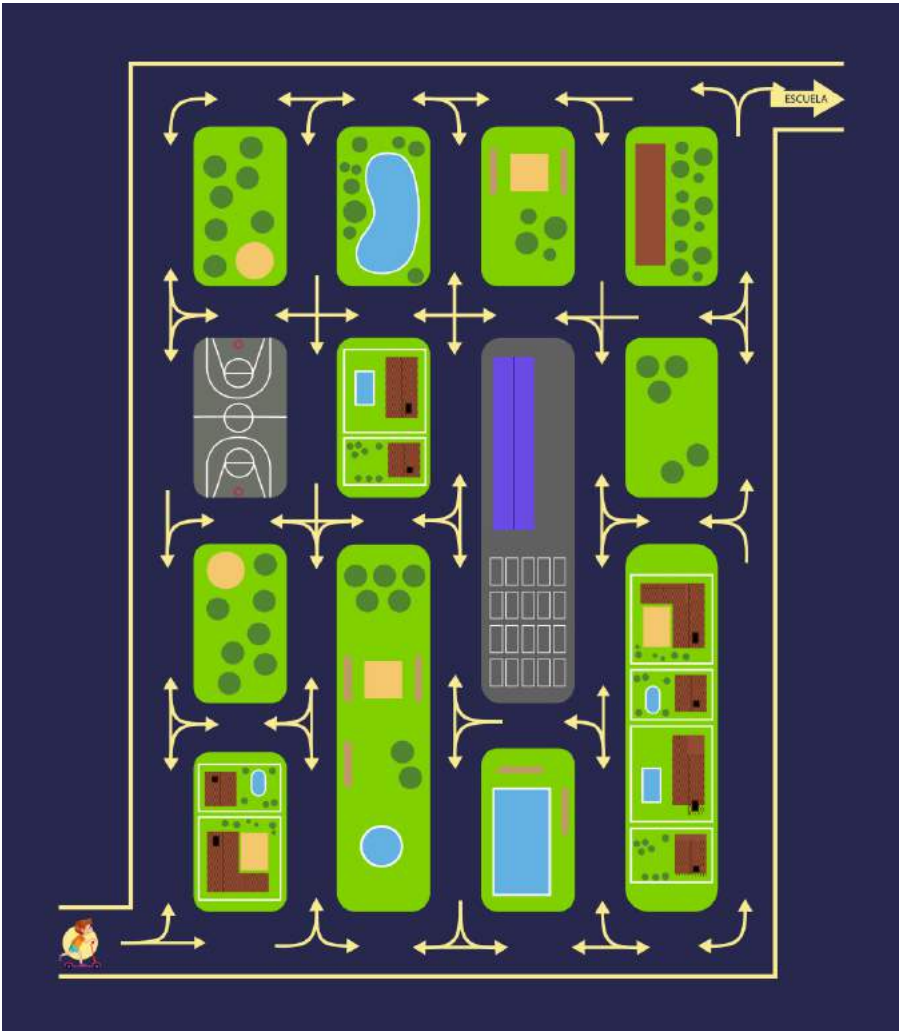


FATAL DISTRACTION



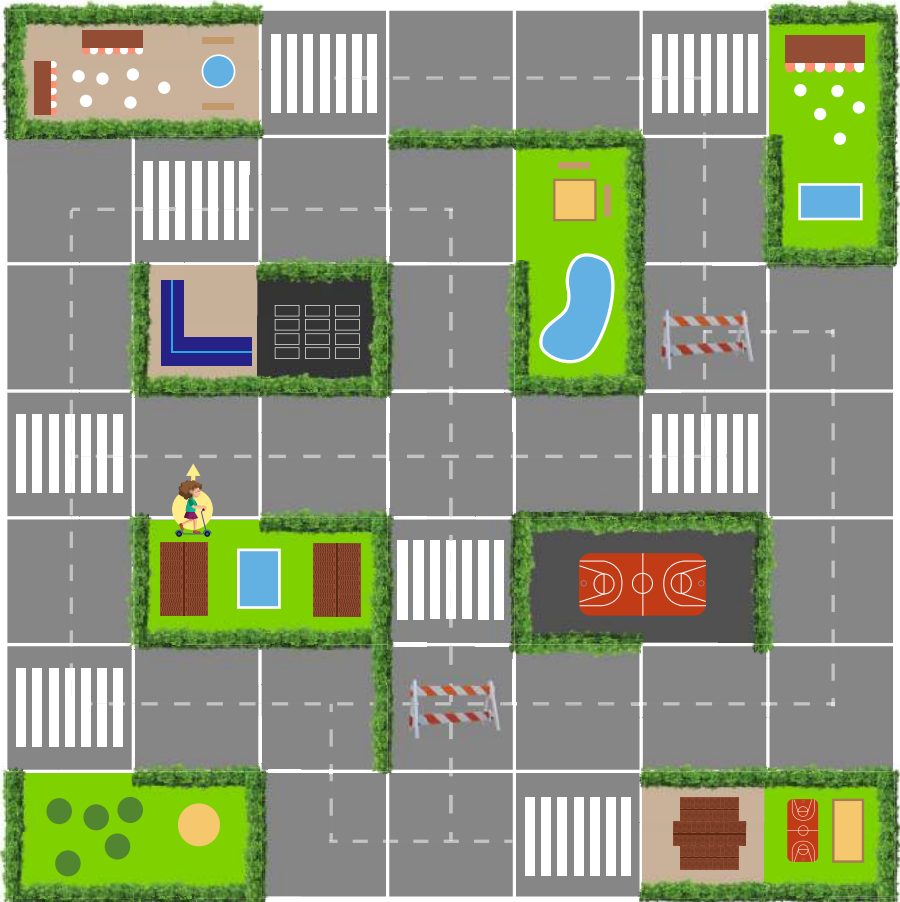
DRIVING TEST

Having one drink too many, having memory lapses and not being able to find your way back go hand in hand. If you have trouble finding your way back, you've been caught out.

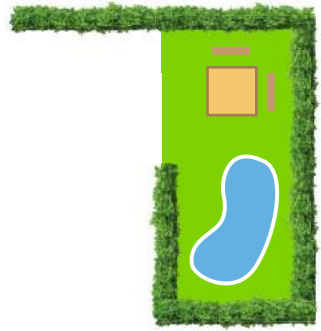
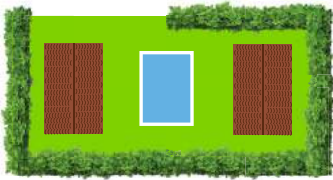


WE HAVE TOURIST BRAINS

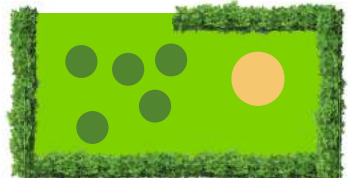
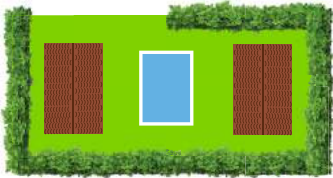
Order in each case the following movements so as to reach your destination.



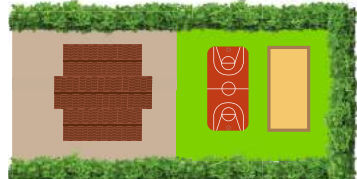
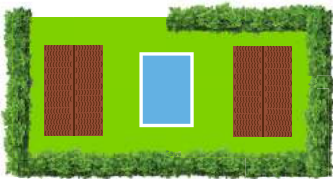
Route 1



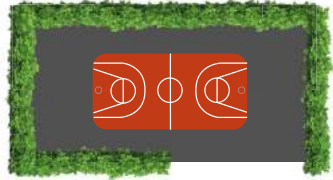
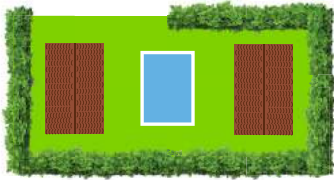
Route 2



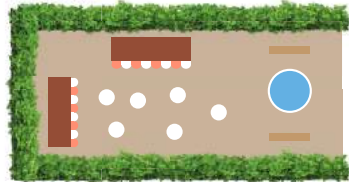
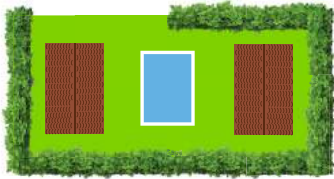
Route 3



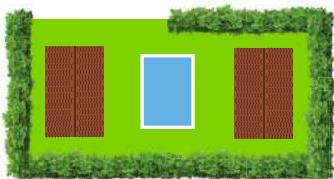
Route 4



Route 5

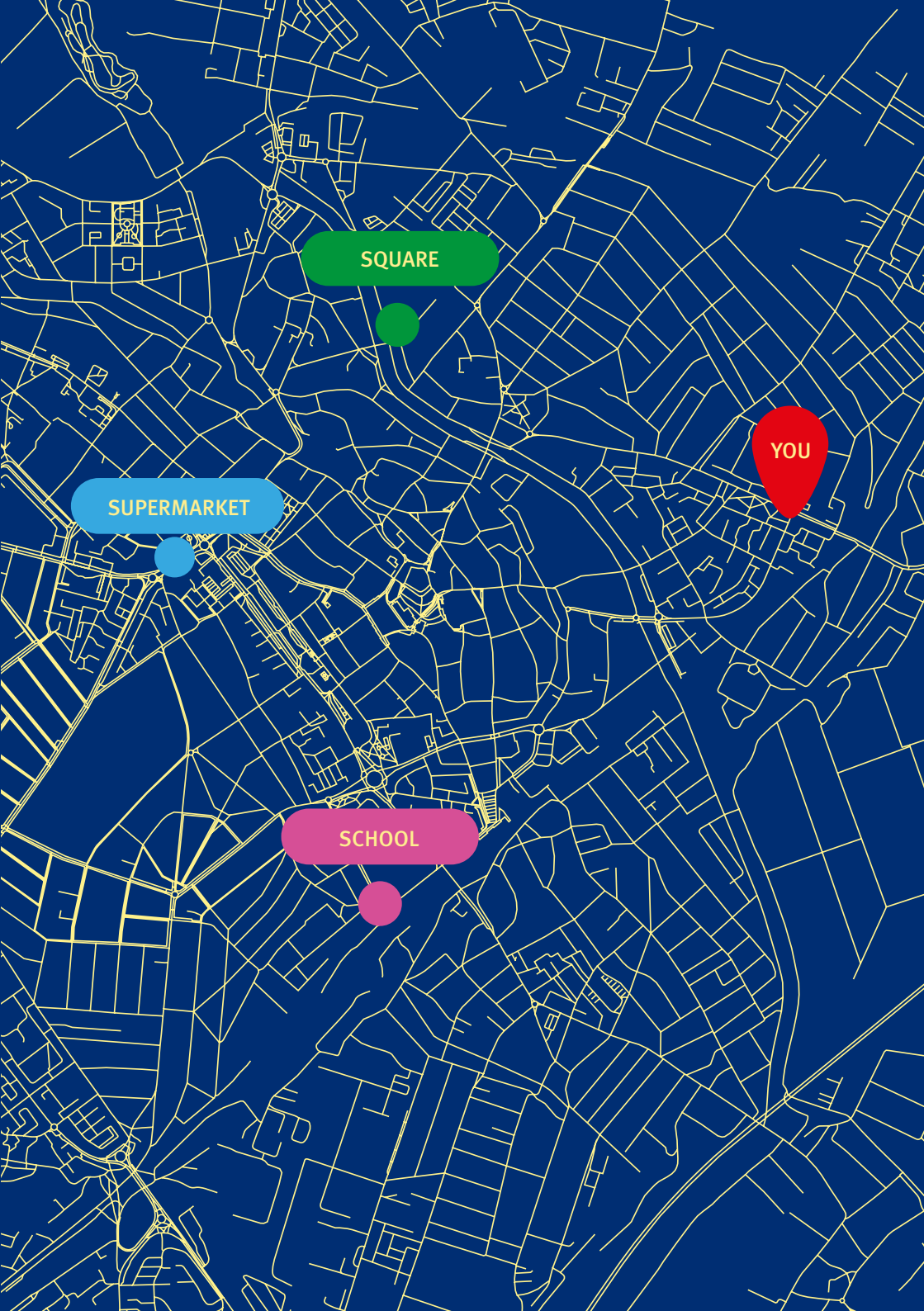


Route 6



TELL ME WHERE YOU LIVE AND I'LL TELL YOU HOW YOU FIND YOUR WAY AROUND

A recent study confirms something that seems obvious: living in a highly labyrinthine environment increases our sense of orientation. Identify the shortest path to reach each destination from your position.

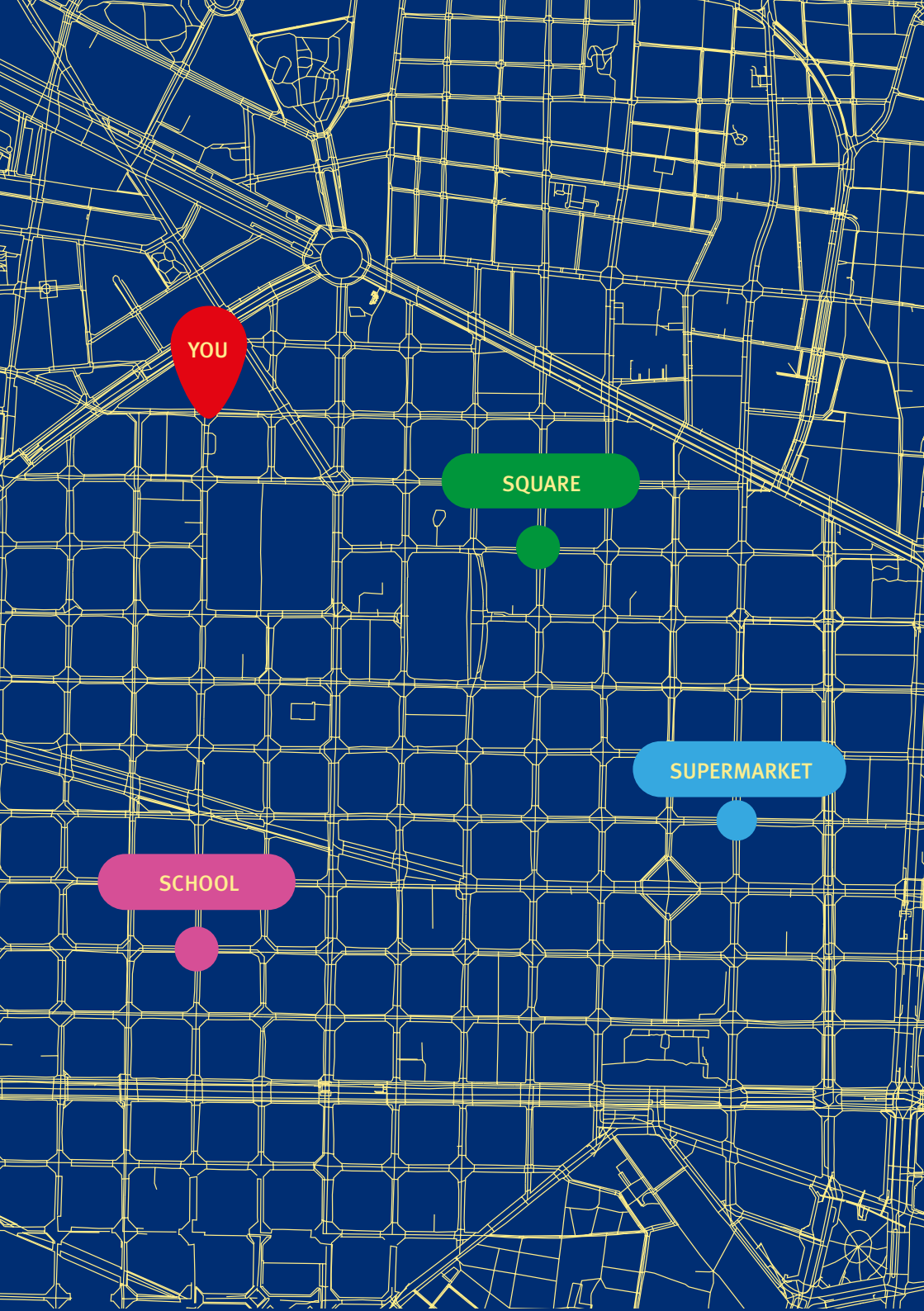


SQUARE

YOU

SUPERMARKET

SCHOOL



YOU

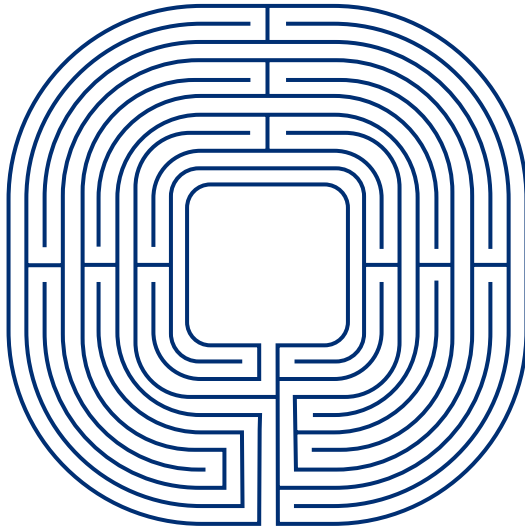
SQUARE

SUPERMARKET

SCHOOL

MENTAL DISCONNECTION

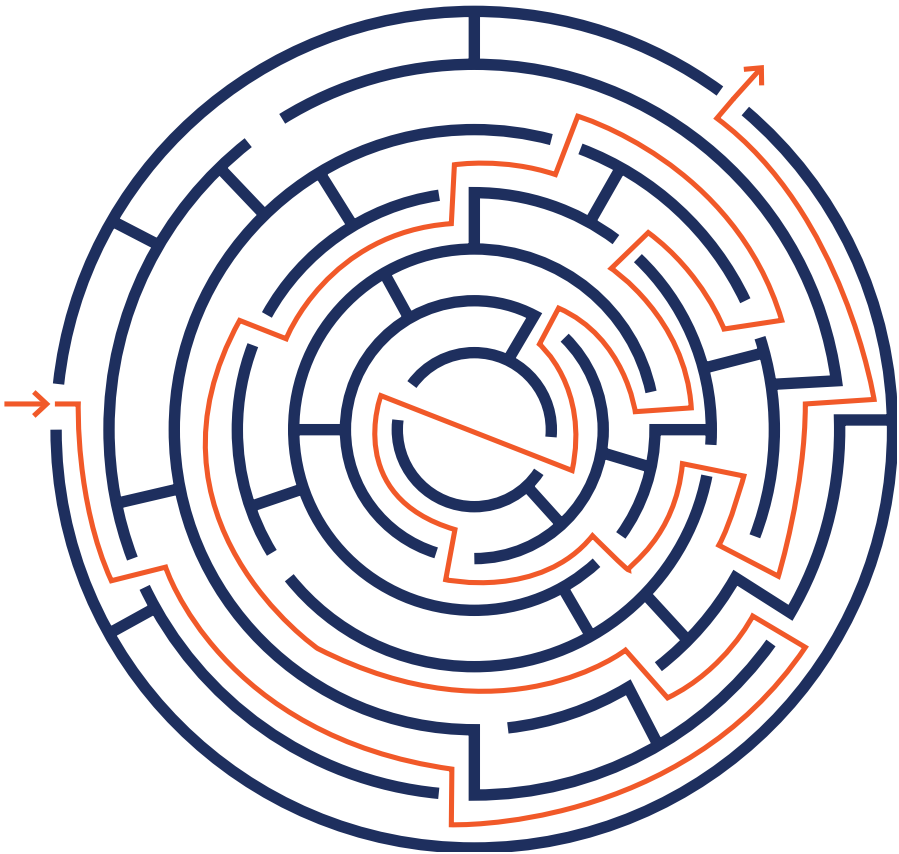
Relax your mind by running through these mazes with your finger.



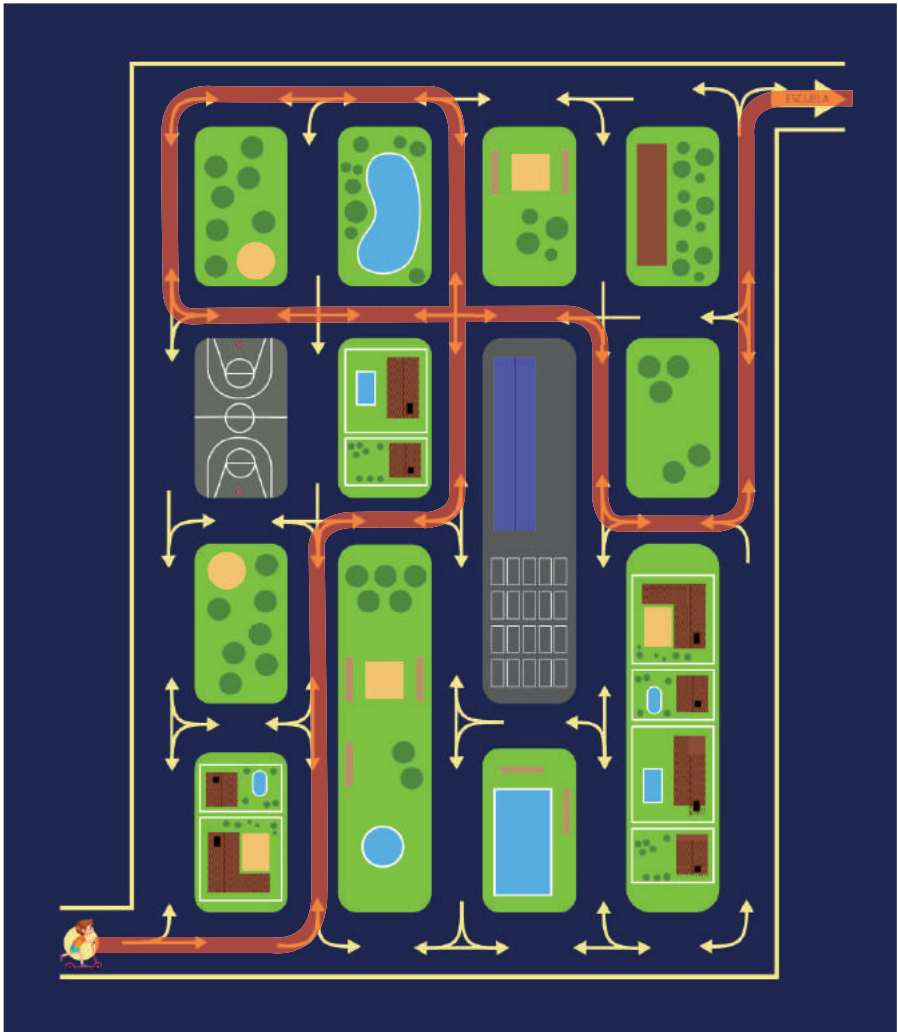
Play and see for yourself
SOLUTIONARY

SOLUTIONARY

Labyrinth in the dark

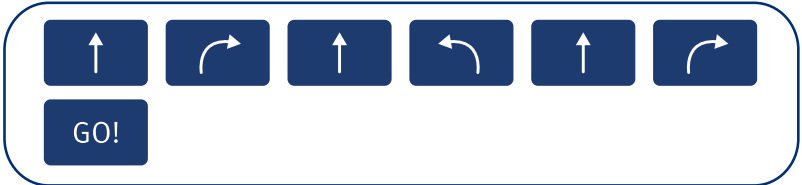


Driving test

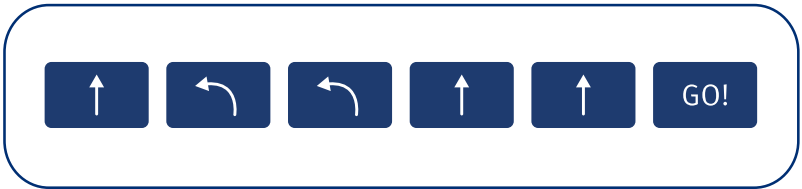


We have tourist brains

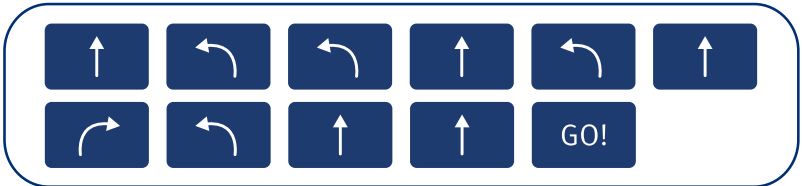
1



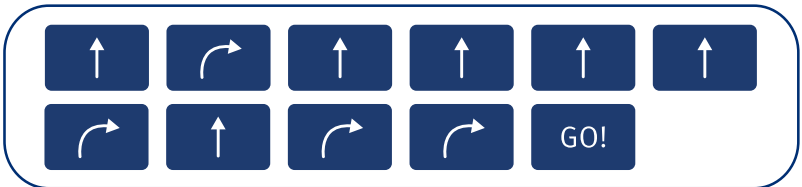
2



3



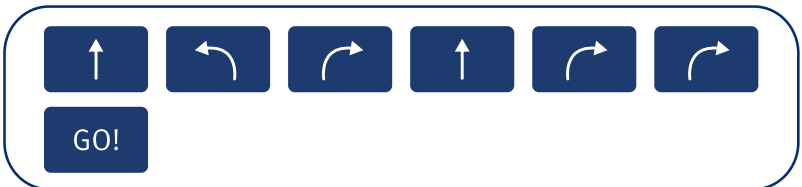
4



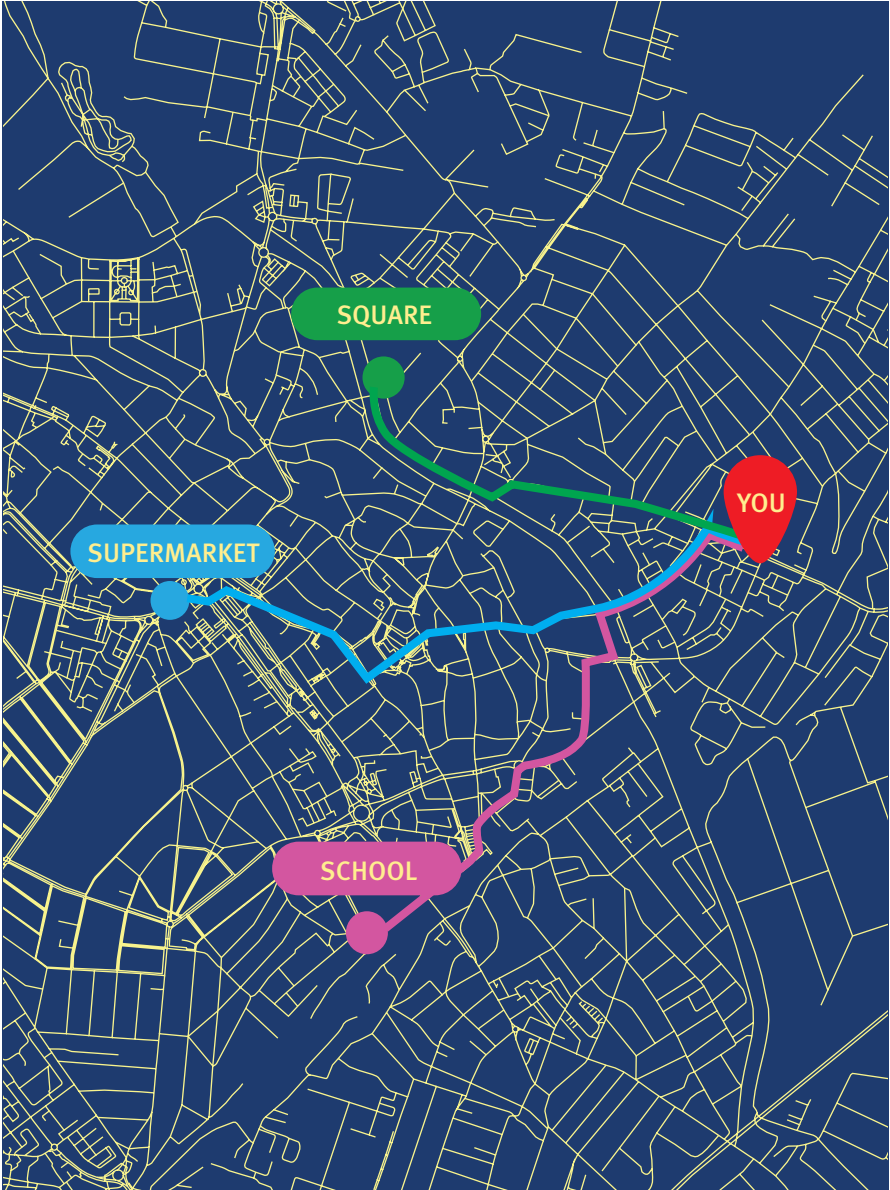
5



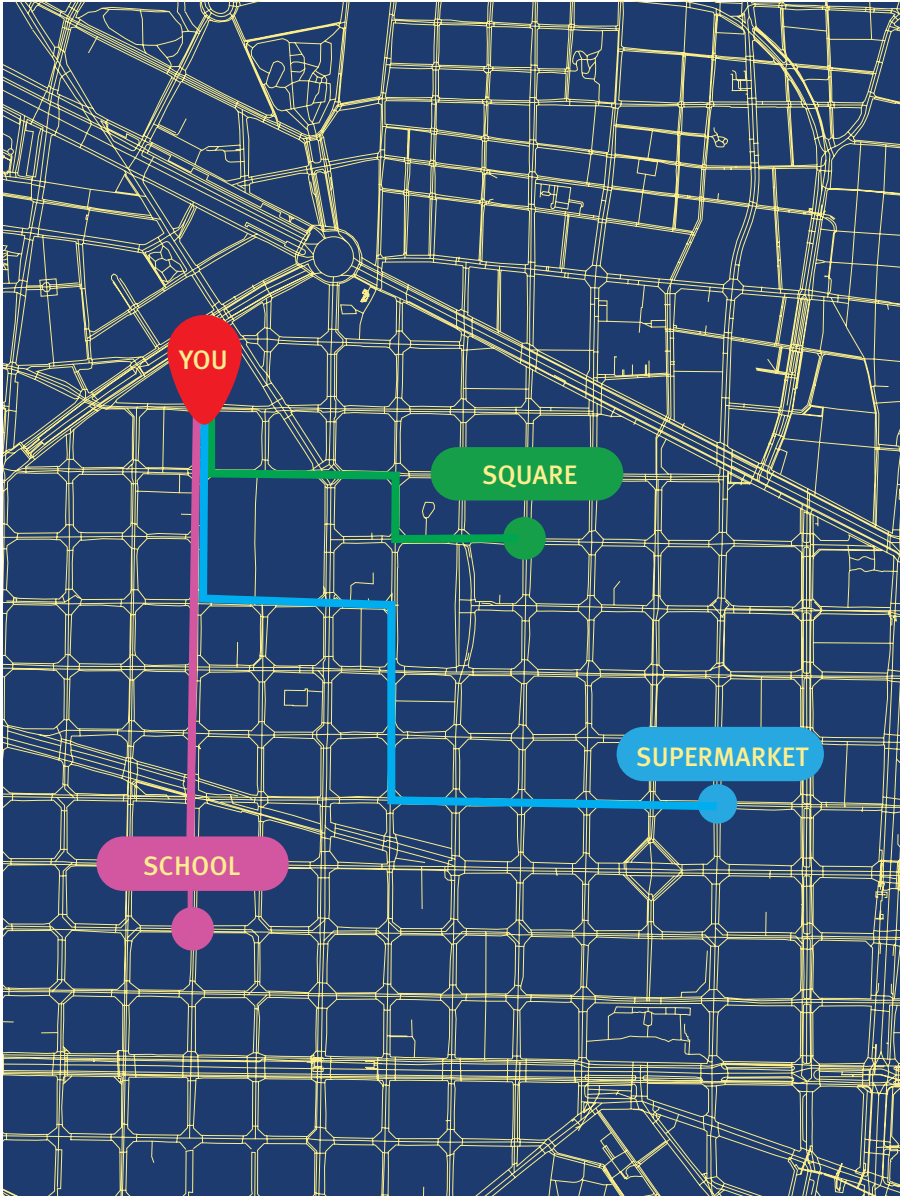
6



**Tell me where you live and i'll tell you how
you find your way around**



**Tell me where you live and i'll tell you how
you find your way around**



BIBLIOGRAPHY

Articles in scientific publications:

Bongiorno, C., Zhou, Y., Kryven, M. et al. *Vector-based pedestrian navigation in cities*. *Nat Comput Sci* 1, 678–685 (2021). <https://doi.org/10.1038/s43588-021-00130-y>

Coutrot, A., Manley, E., Goodroe, S. et al. *Entropy of city street networks linked to future spatial navigation ability*. *Nature* 604, 104–110 (2022). <https://doi.org/10.1038/s41586-022-04486-7>

Goodwin, C. J. *A-mazing research*. *Monitor on Psychology*, 43(2). February 1, 2012. <https://www.apa.org/monitor/2012/02/research>

Kieseler M-L., Duchaine B. *Persistent prosopagnosia following covid-19*. *Cortex*, Volume 162, Pages 56–64, (May, 2023) (<https://doi.org/10.1016/j.cortex.2023.01.012>)

Lin et al. *On Variation in Mindfulness Training: A Multimodal Study of Brief Open Monitoring Meditation on Error Monitoring*. *Brain Sciences* 9/9:226 (2019) <https://doi.org/10.3390/brainsci9090226>

Maguire E., Gadian D., Johnsrude I., Frith C. et al. *Navigation-related structural change in the hippocampi of taxi drivers*. *PNAS*, 97 (8) 4398–4403 (2000) <https://doi.org/10.1073/pnas.070039597>

Mennenga SE, Baxter LC, Grunfeld IS, Brewer GA, Aiken LS, Engler-Chiurazzi EB, Camp BW, Acosta JJ, Braden BB, Schaefer KR, Gerson JE, Lavery CN, Tsang CW, Hewitt LT, Kingston ML, Koebele SV, Patten KJ, Ball BH, McBeath MK, Bimonte-Nelson HA. *Navigating to new frontiers in behavioral neuroscience: traditional neuropsychological tests predict human performance on a rodent-inspired radial-arm maze*. *Front Behav Neurosci*. (2014) doi: 10.3389/fnbeh.2014.00294

Rosenberg M, Zhang T, Perona P, Meister M. *Mice in a labyrinth show rapid learning, sudden insight, and efficient exploration*. *Elife*. (2021 Jul 1); doi: 10.7554/eLife.66175.

Schulte, T., Oberlin, B.G., Kareken, D.A., Marinkovic, K., Müller–Oehring, E.M., Meyerhoff, D.J. and Tapert, S. *How Acute and Chronic Alcohol Consumption Affects Brain Networks: Insights from Multimodal Neuroimaging*. *Alcohol Clin Exp Res*, 36: 2017–2027 (2012). <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1530-0277.2012.01831.x>

Shikauchi, Y., Ishii, S. *Decoding the view expectation during learned maze navigation from human fronto–parietal network*. *Sci Rep* 5, 17648 (2016). <https://doi.org/10.1038/srep17648>

Wais, P.E., Arioli, M., Anguera–Singla, R. et al. *Virtual reality video game improves high–fidelity memory in older adults*. *Sci Rep* 11, 2552 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-82109-3>

Wood, H. *A virtual Morris maze to assess cognitive impairment in Alzheimer disease*. *Nat Rev Neurol* 12, 126 (2016). <https://www.nature.com/articles/nrneurol.2016.16>

Zhao Min, Marquez, Andre G. 2013. *Understanding humans strategies in maze solving*. arXiv:1307.5713 (2013) (<https://doi.org/10.48550/arXiv.1307.5713>)

Zheng, L., Gao, Z., McAvan, A.S. et al. *Partially overlapping spatial environments trigger reinstatement in hippocampus and schema representations in prefrontal cortex*. *Nat Commun* 12, 6231 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41467-021-26560-w>

Popular science articles:

Billok, Jennifer. *Walk the world's most meditative labyrinths*. *Smithsonian Magazine* (May, 2016).

Dalton, Ruth; Dalton, Nick. *How to scape a maze according to maths*. *The Conversation* ([//theconversation.com](http://theconversation.com)), (Enero. 2017).

Gholipour, Bahar. *Can You Diagnose Dementia from a Gaming App?* *Scientific American* (November, 2016).

Jabr, Ferris. *Cache Cab: Taxi Drivers' Brains Grow to Navigate London's Streets*. *Scientific American*. (December, 2011).

Lee, Albert. *How the Brain Makes Sense of Spaces, Large and Small*. Howard Hughes Medicine Institute (www.hhmi.org). (August, 2014).

Mittan, Kyle. *Ever been lost in grocery store? Researchers are closer to knowing why it happens*. *University Communications*, The University of Arizona, (November, 2021).

Moser, May-Britt; Moser, Edvard I. *The Brain's GPS Tells You Where You Are and Where You've Come from*. *Scientific American*, (January, 2016).

Olson, Amy. *Dartmouth study finds impairments in face recognition and navigational abilities*. Dartmouth University (home.dartmouth.edu/news) (March, 2023).

Ratti, Carlo. *Cellphone data shows that people navigate by keeping their destinations in front of them – even when that's not the most efficient route*. *The Conversation* ([//theconversation.com](http://theconversation.com)). (October, 2021).

Sánchez, Carlos Manuel. *Rafael Yuste: el guardián del cerebro*. *XL Semanal*, 1782, December 2021.

Sanders, Laura. *Where you grew up may shape your navigational skills*. *Science News* (www.sciencenews.org), (April, 2022).

Singer, Emily. *Brains's positioning system linked to memory*. *Quanta Magazine* (www.quantamagazine.org) october, 2014.

Trafton, Ann. *How the brain navigates cities*. MIT News Office; Massachusetts Institute of Technology. (October, 2021).

Weismann, Emma. *Amazing maze: what science says about solving labyrinths*. *National Geographic* (www.nationalgeographic.com), july, 2014.

Wilke, Caroline. *Navigating a virtual world helped older adult's memory*. *Scientific American*, (june 1, 2021).

Yadav Geetha. *The brain's GPS—Unraveling the functioning of our navigation system*. *Bioradiations* (www.bioradiations.com). (November, 2014).

Websites:

<https://www.alzheimersresearchuk.org/research/for-researchers/resources-and-information/sea-hero-quest/>

<https://www.telekom.com/en/corporate-responsibility/corporate-responsibility/sea-hero-quest-game-for-good-587134>

<https://labyrinthresourcegroup.org/what-are-labyrinths/>

<https://www.nobelprize.org/prizes/medicine/2014/summary/>

<https://www.nobelprize.org/prizes/medicine/1906/summary/>

CRÉDITOS DE LA EXPOSICIÓN

Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades:

Diana Morant Ripoll

Secretaria General de Investigación:

Eva Ortega-Paíno

Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología:

Imma Aguilar Nàcher

Museo Nacional de Ciencia y Tecnología:

Fernando Luis Fontes Blanco

Comisariado:

Francisco Javier Cudeiro Mazaira

Idea, programación y coordinación:

Miguel Barral Precedo

Diseño, montaje, producción ejecutiva y gráfica:

Intervento 2 S.L.

Apoyo y colaboración:

Personal MUNCYT A Coruña

