



PSIKOLOGIA
FAKULTATEA
FACULTAD
DE PSICOLOGÍA

Trayectorias del Desarrollo de la Memoria Episódica y las Funciones Ejecutivas en la Adolescencia: Un estudio con Realidad Virtual.

Saioa Paris

FACULTAD DE PSICOLOGÍA UPV/EHU PSIKOLOGIA FAKULTATEA

Tutora: Eugenia Marín

8 de junio de 2022

Modalidad IV: Proyecto de investigación desarrollo y/o innovación

ÍNDICE

RESUMEN -----	4
INTRODUCCIÓN -----	5
Avances tecnológicos e investigación de los procesos cognitivos -----	6
El proceso madurativo durante la adolescencia: cambios neurales y cognitivos -----	7
Estudio de las Funciones Ejecutivas (FE) con técnicas de neuroimagen -----	9
Estudio de la memoria con técnicas de neuroimagen -----	10
La relación entre la memoria episódica y las FE y objetivos de estudio ----	13
MÉTODO -----	14
Participantes -----	14
Materiales -----	15
Procedimiento -----	17
RESULTADOS -----	19
DISCUSIÓN -----	21
REFERENCIAS -----	23
ANEXOS -----	32
Anexo 1. Entorno virtual de los test Nesplora -----	32
Figura 1. -----	32
Figura 2 -----	32
Anexo 2. Tareas de Nesplora Ice Cream -----	33
Figura 3 -----	33
Figura 4 -----	33
Anexo 3. Tareas de Nesplora Suite -----	34
Figura 5 -----	34
Anexo 4. Variables escogidas -----	35
Tabla 1 -----	35
Tabla 2 -----	36
Anexo 5. Análisis de datos - Eliminación de <i>outliers</i> -----	37
Figura 6 -----	37
Tabla 3 -----	37
Anexo 6. Análisis de datos – Análisis de Componentes Principales (PCA) ---	39
Tabla 4 -----	39

Anexo 7. Análisis de datos – Regresión de Componentes Principales (PCR) 42

Tabla 5 -----42

Anexo 8. *Hardware* de los instrumentos. ----- 43

Figura 7 -----43

Figura 8 -----43

RESUMEN

Las nuevas tecnologías han proporcionado un conocimiento más extenso de los procesos cognitivos en desarrollo. De esta manera, el propósito de este artículo es estudiar las trayectorias del desarrollo entre la memoria episódica y las funciones ejecutivas (FE) en la adolescencia gracias al uso de la Realidad Virtual. Las investigaciones previas sugieren que el desarrollo de la memoria episódica estratégica, que se refiere a los procesos de control que contribuyen a la codificación y la recuperación de los recuerdos episódicos, está vinculada al desarrollo de las FE en la adolescencia; sin embargo el desarrollo de la memoria episódica asociativa, que se refiere a los mecanismos de integración de información que permiten crear representaciones episódicas coherentes, maduraría durante la niñez y por tanto no estaría vinculada al desarrollo de las FE. Los resultados de este estudio no consiguen evidenciar que las capacidades de FE predigan el desarrollo de ningún componente de la memoria episódica en el período de la adolescencia, pero han evidenciado que existen dos componentes de memoria episódica y que se comportan de manera diferencial en el período de la adolescencia. No obstante, es necesaria más investigación para replicar estos resultados conductualmente y con neuroimagen.

Palabras clave: adolescencia, trayectoria del desarrollo, memoria episódica, memoria estratégica, funciones ejecutivas y Realidad Virtual.

***El Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS)** alineado con este TFG es el de salud y bienestar (objetivo 3). Este trabajo promueve la comprensión de la interacción del desarrollo de la memoria episódica y las funciones ejecutivas en el periodo de la adolescencia. La mayoría de investigación sobre esta relación utiliza muestras de adultos, por lo tanto, el presente trabajo está orientado a profundizar en el conocimiento de la interacción de estos procesos cognitivos durante la adolescencia, para promover el bienestar de las personas durante esta etapa.*

INTRODUCCIÓN

Las nuevas tecnologías de recogida de datos y análisis de la cognición y conducta humana están en constante desarrollo. Debido a este auge, hoy en día tenemos un conocimiento más extenso sobre el funcionamiento de los procesos cognitivos y han surgido nuevos debates y preguntas en la comunidad científica. Así que, el próximo estudio trata de completar algunos de estos puntos acerca del desarrollo de los procesos cognitivos, concretamente las Funciones Ejecutivas (FE) y la memoria durante la adolescencia. Con este objetivo, se llevó a cabo un estudio experimental con Realidad Virtual.

La memoria y las FE han sido estudiadas tradicionalmente como procesos cognitivos separados y no fue hasta la propuesta de Baddeley y Hitch (1974) que se consideró la existencia de puntos de influencia entre las dos (Rogers et al., 1999). Posteriormente, numerosos estudios neuropsicológicos han demostrado la dependencia de ambos de la corteza frontal y la vía hipocampo-prefrontal (Wheeler et al., 1995; Sigurdsson y Duvarci, 2016). Por ejemplo, Mander et al. (2013) demostraron que los **adultos mayores** con déficits de memoria experimentan alteraciones en la consolidación de la información a medida que sus cortezas prefrontales van deteriorándose. En otro estudio sugirieron la implicación del córtex prefrontal medial en la recuperación estratégica de los recuerdos a través de claves contextuales haciendo uso de control *top-down*, lo que está relacionado directamente a las FE (Preston y Eichenbaum, 2013).

De esta manera, un gran número de estudios evidencian la influencia entre los dos procesos, memoria y FE. Ahora bien, todos ellos giran en torno a poblaciones adultas y no parecen aclarar **cómo se da la interacción entre ambos procesos en un punto del desarrollo neurocognitivo**. Es más, diversos estudios que investigan dichos procesos por separado demuestran que las áreas cerebrales asociadas presentan cambios estructurales y funcionales durante el desarrollo neurocognitivo (Scherf et al., 2006). En el mismo sentido, en la actualidad se reconoce que los modelos explicativos del funcionamiento cognitivo en adultos no son equiparables en otros puntos de desarrollo, ya que los procesos cognitivos en etapas del desarrollo son más dinámicos (Paterson et al., 2006). Por consiguiente, es razonable considerar que la interacción entre procesos pueda ir modificándose a lo largo del desarrollo. De esta manera, este estudio se centra en entender cómo se desarrollan algunos aspectos de la memoria y de las FE y cómo interaccionan durante la **adolescencia**. Dicho de otra manera, esta investigación trata de responder a la siguiente pregunta:

¿Es el desarrollo de la memoria y de las FE independiente o se influyen mutuamente?

Avances tecnológicos e investigación de los procesos cognitivos

Blakemore y Choudhury (2006) exponen que hace medio siglo, se sabía muy poco sobre cómo se desarrolla el cerebro humano y en el siglo XX, gracias a los avances tecnológicos, ha sido cuando se ha empezado a profundizar en este conocimiento. Entre estas técnicas cabe destacar la **resonancia magnética funcional (RMNf)** que proporciona imágenes cerebrales basándose en los cambios de las propiedades ferromagnéticas de la sangre asociadas al consumo de oxígeno por parte de las neuronas y utiliza la señal BOLD (*Blood-Oxygen-Level-Dependent*) a modo de indicador. La RMNf permite obtener imágenes de las áreas que en un determinado momento están siendo utilizadas de una manera más significativa. La técnica resulta ser interesante para investigar la interacción de varios procesos cognitivos puesto que permite estudiar áreas que están funcionalmente conectadas, es decir, que trabajan conjuntamente y tienen una dependencia temporal de la actividad neuronal, y que no tienen por qué estarlo anatómicamente (Friston et al., 1993). Por otro lado, está la resonancia magnética estructural (RMNs) que ha sido ampliamente utilizada para la investigación y la clínica, ya que proporciona un excelente detalle anatómico y una diferenciación clara entre materia gris y materia blanca. Esta técnica, utiliza las propiedades de los distintos tejidos que existen en el cerebro para obtener información sobre la morfología o estructura del cerebro.

Estos métodos de neuroimagen han ayudado a aumentar el conocimiento sobre el desarrollo del cerebro humano, y además han suscitado mayor interés por los cambios en la estructura y la función del cerebro a lo largo de la vida (Blakemore, 2012). No obstante, no deberíamos descartar las medidas cognitivo-conductuales. De hecho, Burnett et al. (2011) explican que los estudios cognitivo-conductuales son vitales para interpretar y calificar los hallazgos de la neuroimagen del desarrollo en términos de capacidades cognitivas preservadas o cambiantes. De la misma manera, manifiestan que la reorganización neuroanatómica –debida al desarrollo cerebral– puede influir en el funcionamiento cerebral, provocando cambios a nivel cognitivo-conductual. Es por ello por lo que un análisis cognitivo-conductual es considerado como factible, ya que se mide el “reflejo de las bases neurales” indirectamente. Sin embargo, este tipo de estudios tienen reducida validez ecológica, es decir, las conclusiones son en ocasiones difíciles de aplicar en contextos de la vida

cotidiana fuera del laboratorio. En este sentido, son relevantes los estudios cognitivo-conductuales que hacen uso de la Realidad Virtual y que complementan los conocimientos obtenidos con materiales menos ecológicos manteniendo un riguroso control experimental. La Realidad Virtual permite diseñar en un laboratorio situaciones 3D que se asemejan a la realidad proporcionando así una experiencia inmersiva y generalizable, y al mismo tiempo, con control experimental. En el escenario virtual, todas las variables existentes del escenario y cada una de las ejecuciones están controladas y registradas para que la herramienta pueda dar contenido experiencial evaluable por los investigadores (Climent y Tirapu, 2021; Climent y Díaz Orureta, 2022). Otro de los puntos a favor para el uso de este medio es el de ahorrar tiempo y recursos pudiendo medir simultáneamente una cantidad de variables significativamente mayor a la de los instrumentos tradicionales. Así que, en función de lo mencionado, en este estudio se opta por un **análisis cognitivo-conductual a través de la Realidad Virtual** que posibilitará analizar los procesos cognitivos de interés.

El proceso madurativo durante la adolescencia: cambios neurales y cognitivos

La **adolescencia** puede definirse como el período comprendido entre los 10 y los 19 años en los seres humanos (OMS, 2010). Es en este período en el que el cerebro humano sufre una drástica transición reflejada conductualmente, sobre todo por la maduración del control cognitivo y procesos cognitivos (Casey et al., 2008; Kim-Cohen et al., 2003) y por una reorganización neuronal (Davidow et al., 2016).

Por una parte, en estudios con RMNs acerca de este período se han observado **cambios anatómicos o estructurales** drásticos en el volumen, densidad y espesor de la materia gris (cuerpos celulares, dendritas, axones sin mielina, células gliales, capilares y neuropilos) y transformaciones en los tractos la materia blanca (axones mielinizados, oligodendrocitos y astrocitos) en distintas áreas del cerebro (Huttenlocher, 1979; Sowell et al., 1999; Sowell et al., 2001; Sowell et al., 2003; Giedd et al., 1999; Paus et al., 1999; Blakemore et al., 2010). Respecto a estas modificaciones estructurales de la adolescencia, Blakemore y Choudhury (2006) explican que postnatalmente tenemos una densidad sináptica mayor a la de los adultos debido a la sinaptogénesis, la formación exponencial de sinapsis. Después, en dos momentos de la etapa del desarrollo, a los pocos meses del nacimiento y en la adolescencia, las sinapsis utilizadas frecuentemente se mantienen y las que no, se deshacen a través de un proceso llamado *pruning*. Este último proceso llevará a tener una densidad sináptica comparable a la adulta, es decir, reducida

a niveles de madurez. De hecho, en gran parte de la superficie cortical, el desarrollo de la materia gris se ajusta a una trayectoria de desarrollo en forma de U invertida, aumentando inicialmente su volumen durante la infancia, alcanzando un pico en la adolescencia, y disminuyendo de forma constante en la adultez (Giedd et al., 1999).

Por otra parte, medidas de RMNf han evidenciado que durante la adolescencia se implican o reclutan distintas áreas cerebrales en comparación a los adultos debido a estrategias compensatorias o de reorganización asociadas a la maduración. Es decir, se observan **cambios funcionales** con diferencias en localización, intensidad y conectividad cerebrales en el período de la adolescencia (Casey et al., 2002; Luna et al., 2001; Finn et al., 2010; Scherf et al., 2006; Luna et al., 2010). Además, en ocasiones las áreas implicadas en adultos y adolescentes para hacer las mismas tareas se activan con diferente intensidad (Casey et al., 1997; Davidow et al., 2016; Scherf et al., 2006).

Respecto a la **interacción entre cambios estructurales y funcionales**, Burnett et al. (2011) han intentado correlacionar los cambios en la materia blanca y la activación funcional (Olesen et al., 2003) pero los resultados apuntan a que los cambios estructurales explican sólo parte de las modificaciones funcionales a lo largo del desarrollo, pero no todas. Esto podría deberse a la gran plasticidad y procesos de reorganización de conexiones neuronales que aparecen en el período de la adolescencia (Casey et al., 2002; Luna et al., 2001; Finn et al., 2010; Luna et al., 2010; Casey et al., 1997; Davidow et al., 2016; Scherf et al., 2006). En este sentido, algunos autores como Davidow et al. (2016) plantean la *teoría de la maduración* que considera la adolescencia como una etapa diferenciada y adaptativa para sus necesidades momentáneas, y no como una etapa en la que la adultez es la cúspide del desarrollo y la reorganización se deba a una compensación (*teoría de la compensación*).

Por tanto, se evidencia una organización estructural y funcional cerebral distinta en la adolescencia que, a su vez, refleja **cambios cognitivo-conductuales y emocionales** de esta etapa (Steinberg, 2010). Concretamente, respecto a la memoria y las FE, los datos ponen de manifiesto que los adolescentes muestran una mejora significativa en la atención selectiva y la atención dividida (Higgins y Turnure, 1984), mejoras tanto en la memoria de trabajo como en la memoria a largo plazo (Lerner y Steinberg, 2009), un aumento en la velocidad de procesamiento entre los 5 años y la mitad de la adolescencia (estabilizándose alrededor de los 15 años) (Kali y Ferrer, 2007) y nuevas estrategias de pensamiento y razonamiento (Brown, 1975).

Estudio de las Funciones Ejecutivas (FE) con técnicas de neuroimagen

Como evidencian muchos estudios sobre el desarrollo de procesos cognitivos, uno de los componentes que más drásticamente se desarrolla y mejora en la adolescencia son las **Funciones Ejecutivas** (Anderson et al., 2001; Blakemore y Chandhuri, 2006). Muriel Lezak (1982) las describió por primera vez como capacidades para la formulación de metas, la **planificación**, la ejecución de planes dirigidos a objetivos y a solucionar problemas. Miyake et al., (2000) las definen como la **memoria de trabajo (MT)**, **flexibilidad cognitiva** y control inhibitorio, siendo estos, componentes que comparten un propósito común que es el del control de la atención (relacionado con el *switching* o atención alterna consciente) y de la conducta dirigida a conseguir un objetivo adaptativo.

Las FE son ontogénicamente los últimos procesos en ajustarse lo que se asocia con la maduración igualmente tardía del córtex prefrontal (CPF) (Blakemore y Choudhury, 2006). No obstante, hoy día se considera que el hecho de que las FE sean dependientes de áreas del córtex frontal no significa que dependan únicamente de estas regiones; de hecho, también existen otras áreas cerebrales que participan en conjunto para integrar las FE (Alvarez y Emory, 2006). De esta manera, y gracias a estudios de neuroimagen y de pacientes neuropsicológicos, se ha puesto de manifiesto que las FE están asociadas al funcionamiento del **CPF dorsolateral**, relacionado con la MT y con la flexibilidad cognitiva; del **CPF ventrolateral** (Owen et al., 2000), del córtex orbitofrontal, relacionado con la inhibición (Bryden y Roesch, 2015); del córtex cingulado anterior, relacionado a la toma de decisiones, la sorpresa y la motivación; y de las interacciones entre córtex prefrontal y el **hipocampo**, relacionado con el *binding* o la integración de la información y la recuperación de eventos en un contexto espacio-temporal (Sigurdsson y Duvarci, 2016). Además, otras áreas como el cerebelo, el área tegmental ventral y la sustancia negra (Finn et al., 2010; Koziol et al., 2012; Noroozian, 2014; Trutti et al., 2019) se han asociado igualmente a las FE. Un aspecto importante para considerar es que este conocimiento se ha recabado considerando estudios con muestras adultas. Y, sin embargo, la investigación sobre el desarrollo neural y neurocognitivo pone de manifiesto que estas áreas no tienen el mismo volumen, densidad y actividad a lo largo del tiempo.

Respecto a las **modificaciones estructurales** que se dan a lo largo del desarrollo, Blakemore (2012) hipotetiza que hasta que se activa el proceso del *pruning* después de la pubertad, las conexiones sinápticas en el CPF generan una baja relación señal/ruido debido a un exceso de

sinapsis, induciendo un rendimiento cognitivo menos eficiente. De hecho, en un estudio sobre las FE (Giedd et al., 1999), observaron que en el CPF y los lóbulos **parietales** se da un pico de volumen de la materia gris a los 11-12 años y Blakemore et al. (2010) lo relacionaron al inicio de la pubertad. Además, igualmente al inicio de la adolescencia, también se han encontrado que, en el **CPF dorsolateral**, córtex parietal y córtex temporal, se produce un crecimiento de la materia blanca acompañada por la reducción acelerada de materia gris relacionable al *pruning* (Sowell et al., 1999; Sowell et al., 2001; Sowell et al., 2003). Igualmente, se encontraron resultados semejantes en el **hipocampo** (reducción de materia gris seguido de un incremento en volumen general) (Giedd et al., 1999; Goddings et al., 2014) y en áreas subcorticales como el cuerpo estriado (reducción de volumen) implicado en el aprendizaje basado en recompensas (Sowell et al., 2002; Goddings et al., 2014).

Por otro lado, los estudios **funcionales** sugieren que la maduración de la cognición adulta, además de un desarrollo estructural, implica un desarrollo de precisión en el reclutamiento de las áreas necesarias y su integración que llevarían a mejorar el rendimiento (Scherf et al., 2006). Esto reflejaría la reorganización cerebral mencionada anteriormente. Por ejemplo, Scherf et al. (2006) evidenciaron que en la adolescencia la MT activaba una red difusa y los adultos en cambio, reclutaron una red más especializada junto con regiones adicionales que mejoraron su rendimiento de la MT como el **CPF dorsolateral**, el **CPF ventrolateral** y el giro supramarginal. El CPF dorsolateral en la adultez está relacionado a la manipulación y representación de información elaborada como tareas de *spam* de dígitos inverso, así como de su seguimiento, verificación y evaluación (Owen et al., 2000). El CPF ventrolateral por otro lado, está implicado en la búsqueda estratégica de representaciones almacenadas, el mantenimiento de la información recuperada, la selección de una memoria específica entre varias en competición y en la retención de información momentánea como tareas de *spam* de dígitos directo (Shing et al., 2010; Owen et al., 2000). Además, los mismos autores observaron que el uso del **córtex orbitofrontal** se destaca en la adolescencia en tareas ejecutivas como de MT e inhibición y esta actividad se orienta hacia el CPF dorsolateral en la edad adulta, resultando en un mejor rendimiento.

Estudio de la memoria con técnicas de neuroimagen

Son varios los estudios que han demostrado que la memoria se desarrolla durante la adolescencia (Casey et al., 2000). La memoria es un proceso cognitivo que permite retener

información de experiencias pasadas para que posteriormente puedan ser utilizadas en el contexto que se necesiten. Además, tiene como función posibilitar la codificación, almacenamiento y recuperación de la información del pasado (Feldman, 2005). El modelo clásico de Atkinson y Shiffrin (1968) propuso la existencia de diferentes almacenes de memoria en función de su duración de su almacenamiento: **memoria sensorial** (con una durabilidad de milisegundos a segundos), **memoria a corto plazo** (con una duración de entre segundos a pocos minutos, en función de los procesos de repaso) y **memoria a largo plazo** (con durabilidad no delimitada, resultante de un refuerzo permanente de la comunicación sináptica entre neuronas como consecuencia de una estimulación eléctrica de alta frecuencia, activación de determinados genes y la síntesis de las proteínas correspondientes) (Córdoba-Montoya et al., 2010).

Respecto a la memoria a corto plazo, posteriormente se propuso el concepto de **Memoria de Trabajo (MT)**, que es una re-descripción de la memoria a corto plazo. En este sentido, se considera que la memoria a corto plazo hace referencia al mantenimiento de información procedente del exterior o previamente almacenada en un corto período de tiempo de manera pasiva. Y la propuesta de la MT la presenta como un sistema que además de mantener la información, utiliza y manipula de manera activa esa u otra información (Funahashi, 2017; Baddeley, 2010). Estudios previos enfatizan la implicación del CPF dorsolateral (información espacial) y la ventrolateral (información no espacial) en la manipulación de la información por parte de la MT (Barbey et al., 2013). Por otra parte, Ranganath (2010) relaciona la activación del área temporal medial con algunos aspectos de la MT como el mantenimiento de la información compleja como caras o escenas que requieren un componente asociativo o de integración.

Y sobre la memoria a largo plazo, en la actualidad se considera que existen los siguientes sistemas de memoria a largo plazo: memoria procedimental, sistema de representación perceptiva, memoria semántica y memoria episódica (Schacter y Tulving, 1994). Este trabajo se centra en el estudio de la memoria episódica. La **memoria episódica** es un sistema a largo plazo que permite tener un recuerdo consciente de eventos contextualizados en un tiempo y lugar concretos (Tulving, 1972). Los elementos que pertenecen al mismo evento tienen que estar integrados y al mismo tiempo diferenciarse de otros rasgos que pertenecen a eventos diferentes (Shing et al., 2010). Al adoptar una perspectiva evolutiva en el desarrollo de la memoria episódica, se evidencia un gradiente espacial de activación en el que en las primeras etapas del desarrollo se es más dependiente del funcionamiento de áreas corticales más anteriores que posteriores produciéndose

una *sobre-utilización* de estas áreas en comparación a los adultos (Powell, 2006). En este sentido, Shing et al. (2010) proponen que la ontogenia de la memoria episódica se basa en la interacción entre dos componentes: (1) El **componente estratégico**, referido a procesos de control, *auto-iniciados* o provocados por instrucciones, que ayudan y regulan las funciones de la memoria tanto de codificación (elaboración y organización del contenido) como de recuperación (verificación, control y evaluación de la información). Y (2) el **componente asociativo** que se refiere a los mecanismos de integración de la memoria en representaciones coherentes que sucede de manera relativamente automática. Los autores afirman que durante el desarrollo el componente asociativo parece madurar en la niñez, sin embargo, el estratégico, madura más adelante desde la adolescencia hasta la adultez joven. Esto se relaciona con una trayectoria de desarrollo diferencial para las áreas cerebrales con las que se relacionan los componentes: el asociativo depende principalmente del área lateral temporal medial, mientras que el estratégico depende principalmente del CPF (Shing et al., 2010).

Por una parte, el **área temporal medial lateral**, se asocia con la codificación de nueva información y con procesos de consolidación. Esta área ha sido relacionada también al modelo de *Binding Items and Contexts* (BIC) de Eichenbaum et al. (2007), que es coherente con el componente asociativo de la propuesta de Shing et al. (2010). El modelo BIC propone que el área temporal medial lateral se encarga de representar información del contexto a través de dos subáreas significativas: la región parahipocampal, que se encarga de la asociación espontánea de estímulos en un mismo evento (aun cuando la tarea no lo requiera) y se vincula con la experiencia de “familiaridad” que ayuda a reconocer los estímulos de un episodio de una manera poco elaborada y específica; y el hipocampo, que codifica representaciones de las relaciones entre los elementos de un evento de manera específica y se relaciona con la experiencia de “recolección” específica de recuerdos episódicos (Ranganath, 2010). Además, Ranganath (2010) manifiesta que la implicación del hipocampo irá relacionado al grado de confianza con la que se reconoce un estímulo en su contexto.

Por otra parte, el CPF lateral (específicamente CPF dorsolateral y ventrolateral; Owen et al., 2000) que necesitaría un desarrollo más prolongado durante la adolescencia, cumple funciones de control estratégico necesarias para las representaciones de memoria (Cabeza y Nyberg, 2000). Como recoge Ranganath (2010), el recuerdo episódico no tiene porqué sólo implicar a las regiones del área temporal medial lateral, sino que también las áreas neocorticales, como las regiones del

CPF y parietal, parecen ser necesarias para construir atribuciones conscientes sobre la información contextual (Moscovitch, 1992). Asimismo, Hannula y Ranganath (2009) observaron en su estudio que, al aprender asociaciones entre distintos estímulos, aumentaba significativamente la activación de los CPF laterales y más aún cuando la respuesta era correcta. Además, encontraron una conectividad funcional mayor entre el hipocampo y el CPF cuando las respuestas eran correctas que cuando no lo eran. En consecuencia, concluyeron que la actividad del hipocampo refleja la recuperación de información relacional de un evento, y que las atribuciones conscientes, precisas y controladas sobre esta información pueden requerir interacciones entre el hipocampo y otras áreas cerebrales como el CPF (relacionado al componente estratégico). Posteriormente, Sigurdson y Duvarci (2016) lo evidenciaron (por sincronía de electroencefalograma y por conectividad funcional de RMNf), y manifestaron que el CPF y el hipocampo están conectados funcionalmente y trabajan en conjunto, de manera integrada, para procesar la información (Sigurdsson y Duvarci, 2016).

Como se puede observar, la capacidad de codificar y recuperar asociaciones episódicas depende de una red funcional distribuida entre los mecanismos de memoria del área temporal medial lateral (principalmente para los procesos relacionales o de integración) y los procesos de control cognitivo mediados por el CPF (principalmente para los procesos de codificación estratégica y recuperación controlada) (Shing et al., 2010).

La relación entre la memoria episódica y las FE y objetivos de estudio

La evidencia previa muestra que existe una clara interacción entre la memoria episódica y las FE, tanto a nivel funcional como anatómico. No obstante, como se ha señalado anteriormente, la mayoría de la evidencia hace referencia a población adulta joven, ya que esta etapa se toma como punto álgido del desarrollo neurocognitivo (Shing et al., 2010). Pero las FE y procesos mnésicos cambian a nivel cognitivo-conductual y a nivel neural, estructural y funcionalmente, durante el desarrollo. Por tanto, es fundamental la comprensión sobre cómo, paralelamente al desarrollo de los procesos mnésicos en la adolescencia, los procesos de control cognitivo experimentan mejoras y pueden contribuir al progreso de la memoria. Estos procesos incluyen la capacidad de inhibir la atención de los estímulos irrelevantes, recuperar el conjunto de estímulos de la tarea y seleccionar la información de acuerdo con los objetivos iniciales y actuales (planificación y flexibilidad

cognitiva), y mantener y manipular la información en la MT (Shing et al., 2010).

El interés científico de este trabajo es el de profundizar en el conocimiento del funcionamiento cerebral, haciendo hincapié en el desarrollo neurocognitivo. Por lo tanto, a continuación, se presenta un estudio empírico sobre la interacción de la memoria episódica y las FE en la etapa del desarrollo de la adolescencia. Para ello, se analizaron la planificación, la flexibilidad cognitiva y la Memoria de Trabajo como componentes de las FE con el instrumento Nesplora Ice Cream vía Realidad Virtual. Y se evaluó la memoria episódica con tareas de recuerdo libre y reconocimiento, con el instrumento Nesplora Suite con Realidad Virtual. Para analizar la interacción entre memoria episódica y FE, se toma el modelo de Shing et al. (2010) como referencia, considerando la posible disociación entre los componentes asociativos y estratégicos de la memoria en nuestra muestra de personas adolescentes. A continuación, se detallan las hipótesis del trabajo:

- 1) Las FE no predecirán el rendimiento de la memoria episódica asociativa (tareas de reconocimiento) debido a que se espera que esté completamente desarrollada en la adolescencia.
- 2) Se espera que el rendimiento en las FE predecirá el rendimiento de la memoria episódica estratégica (tarea de recuerdo libre) en la adolescencia ya que el componente estratégico de la memoria episódica y las FE están todavía en proceso de maduración.

MÉTODO

Participantes

Este estudio ha sido llevado a cabo en colaboración con la empresa Nesplora. Esta empresa se dedica a la creación de instrumentos neuropsicológicos que evalúan procesos psicológicos vía Realidad Virtual. Así que los datos de la muestra presentada en este trabajo fueron obtenidos a través de su base de datos. La recogida de datos se realizó con estudiantes de secundaria de dos institutos: Axular Lizeoa (Donostia-San Sebastián) y La Salle Maravillas (Madrid). En total, el estudio consta de 221 participantes, 109 mujeres y 112 hombres, de 12 a 16 años de edad. Todos los participantes fueron voluntarios y sus tutores legales habían firmado un consentimiento informado previamente. El consentimiento para participar en esta investigación fue avalado por el comité ético del proyecto *Horizon Europe* que concedió la licencia de calidad para investigación e innovación a los instrumentos de Nesplora. Los criterios de inclusión fueron que los participantes

estuviesen en aulas normativas y que los tutores legales de los menores diesen el consentimiento para su participación en el estudio.

Materiales

Los instrumentos utilizados en el estudio son herramientas de evaluación ecológica multitarea tanto para poblaciones sanas como clínicas y que están compuestos por dos tests cognitivos computarizados que usan la Realidad Virtual. Para medir las FE se utiliza el programa *Nesplora Ice Cream* y para la memoria episódica se emplea el test *Nesplora Suite*, ambos desarrollados por la compañía española Nesplora (véase las figuras del Anexo 1). Los dos tests están estandarizados y su validez y fiabilidad están comprobadas (Giunti Nesplora, 2021; Giunti Nesplora, 2022).

El *Nesplora Ice Cream* (Díaz Orureta et al., 2014) está diseñado para la evaluación de personas a partir de 8 años y mide la **flexibilidad cognitiva**, la **planificación**, la **MT**, la velocidad de procesamiento y el aprendizaje, con una duración de unos 35 minutos. Esta herramienta está estructurada de la siguiente manera: al inicio, el participante recibe instrucciones y realiza una tarea de entrenamiento. Posteriormente, se lleva a cabo la prueba en la que el usuario actúa como un vendedor de helados y atiende a clientes, en grupos de 4 personas y debe entregar el helado específico que hayan solicitado (el helado 1, 2, 3, o 4) siguiendo unas reglas predefinidas en las que se especifican los sabores y formatos (tarrina o cucurucho) que tiene cada número de helado y que están escritas en el *libro de recetas* (Climent y Tirapu, 2021). Este ejercicio se repite durante 14 series, y a su vez, cada serie se divide en dos etapas: (1) etapa de planificación o *entrega de turnos*, en la que el usuario primero tiene que acordarse de encender la máquina de helados y después establece el orden en el que tiene que servir a los clientes según las reglas recibidas; y (2) etapa de ejecución o *atención a los clientes*, en la que los clientes, piden el helado que desean, y son atendidos en función del orden establecido por el usuario en la etapa de planificación (véase la figura 3 del Anexo 2). Si el sujeto cambia el pedido que definió en la fase de planificación o si entrega al cliente un helado equivocado, recibe *feedback* correctivo sobre este hecho. (Díaz Orureta et al., 2014,). Además, el sujeto puede revisar el *libro de recetas* y se registra el número de veces y el tiempo de cada vez que lo revisa.

Además de estas dos partes, la prueba se divide en P1 y P2 puesto a que en la 8ª serie el *libro de recetas* cambia y también la configuración de los ingredientes del helado (para los helados 1,2,3 y 4). Es decir, los ingredientes que al principio podían ser para el helado 1 por ejemplo, en la P2

no son los mismos que en la P1 y el sujeto debe ser flexible y lidiar con el cambio para una correcta ejecución (véase la figura 4 del Anexo 2). Al mismo tiempo, el usuario será expuesto a distracciones provenientes de los clientes a los que debe evitar prestar atención. Es aquí donde se evalúa la flexibilidad, adaptación y perseverancia.

Este test, como otros test de Realidad Virtual multitarea, mide una gran cantidad de variables simultáneamente, en concreto 1867 variables pero para este estudio fueron escogidas un total de 11 variables (véase la tabla 1 del Anexo 4): el nº de helados correctamente entregados de la P1 sin mirar *el libro de recetas*, el nº de helados correctamente entregados de la P2 sin mirar *el libro de recetas*, el nº de helados correctamente entregados en total sin mirar *el libro de recetas*, el nº de helados correctamente entregados en total independientemente de si se mira *el libro de recetas*, el nº de helados consecutivos correctos en total sin mirar *el libro de recetas*, las diferencias (de ganancia o pérdida) entre P1 y P2 de helados correctamente entregados, nº de turnos asignados correctamente, la diferencia (ganancia o pérdida) de los helados correctamente entregados en P2, el tiempo que se tarda desde que se acaba la serie hasta que el sujeto enciende la máquina de helados y la diferencia (ganancia o pérdida) de tiempo que se necesita desde que se pulsa un avatar hasta que se le entrega el helado (en ambas partes, P1 y P2).

Por otro lado, para evaluar la memoria se utiliza Nesplora Suite, y es también una herramienta de Realidad Virtual formulada para personas mayores de 12 años. Este instrumento mide la memoria en 45 minutos aproximadamente a través de los paradigmas clásicos del **recuerdo libre**, **reconocimiento**, **memoria de la fuente** y **memoria prospectiva**. La evaluación se realiza en un entorno que simula una tienda de muebles en la que el participante se sitúa en el centro de la sala de exposición de muebles y atiende a los pedidos de los clientes. Durante toda la tarea, la tienda se encuentra estática con los muebles presentes. Primero se realiza una tarea de entrenamiento y posteriormente se pasa la prueba cuyos ejercicios son presentados visual y auditivamente. Nesplora Suite tiene dos partes: la primera (1) consta de cuatro tareas iniciales y un ejercicio disruptivo no relacionado al test, y la segunda (2) tiene tres tareas finales.

En la primera tarea, se solicitan 5 pedidos asociados a 5 familias diferentes que se repiten 3 veces y se mide la mejora de aciertos correctos entre las repeticiones mediante pruebas de recuerdo libre. En la segunda, se analiza la asociación de los muebles a las familias que los han solicitado y se les pregunta a los sujetos a cerca de qué familia había hecho cada pedido concreto (memoria de la fuente). La tercera es una tarea de recuerdo libre de los 5 pedidos (después haber continuado con

el ensayo) y los sujetos son preguntados por los muebles que habían solicitado unas familias en concreto. La cuarta es una tarea de memoria prospectiva que promueve recordar una instrucción dada al principio del test. Entre la cuarta y la quinta, se introduce una tarea disruptiva. La quinta es la misma tarea de recuerdo libre que la tercera tarea, tras el ejercicio disruptivo en la que se preguntan por los pedidos enseñados previamente, pero con un intervalo de retención más largo. En la sexta se analiza el reconocimiento de muebles y se hace presentando muebles que estaban en los pedidos y el resto de los muebles que se encontraban en la tienda. En el presente estudio fueron utilizadas todas las observaciones menos las de la séptima tarea que consiste en el reconocimiento de los muebles en un grupo de muebles que no estaban presentes en la tienda (elección forzada) (véase la figura 5 del Anexo 3).

Respecto a las variables, es fundamental que Suite Nesplora produce 494 variables con la información generada en la evaluación (Giunti Nesplora, 2022), de las cuales 8 están incluidas en nuestro estudio: aciertos correctos de la primera, segunda, tercera, cuarta, quinta y sexta tarea con el añadido del aprendizaje de la tarea 1 (calculada por los aciertos en las repeticiones) y las intrusiones cometidas (véase la tabla 2 del Anexo 4).

Por lo que se refiere al *hardware*, durante ambas pruebas (Ice Cream y Suite) el usuario lleva unas gafas de Realidad Virtual y un sólo controlador (Oculus Touch) que permite al usuario interactuar con los objetos situados en el entorno 3D y unos auriculares de diadema (para facilitar la inmersión y alejarse de distractores externos). Los dispositivos de Realidad Virtual utilizados en este estudio pertenecen a dos modelos distintos: 1) Oculus-Meta Quest2 –para Nesplora Ice Cream, que se reproducía en el propio dispositivo–; 2) Samsung Gear VR –para Suite, que se reproducía en un dispositivo móvil insertado dentro del visor que mediante unas lentes representan la Realidad Virtual–. Por último, ambos dispositivos constaban de un sistema operativo Oculus (véase las figuras 14,15 y 16 del Anexo 8).

Procedimiento

Este estudio tiene un diseño experimental intra-sujeto transversal, por lo que todos los sujetos pasaron por las mismas condiciones experimentales y ambos tests (Ice Cream y Suite).

El procedimiento de la tarea y del registro de datos se realizó teniendo en cuenta el Protocolo de Administración de Nesplora Suite Manual (Climent y Díaz Orureta, 2022), y Nesplora Ice Cream Manual (Climent y Tirapu, 2021). Ambos test tienen tres fases de administración:

1) Antes de la administración en el que se hace un acercamiento de la herramienta mediante preguntas como “¿Sabes qué es la Realidad Virtual?” y/o “¿Alguna vez has utilizado gafas de Realidad Virtual?”, y posteriormente, se hace una presentación instrumental adecuada a las características de la muestra. De esta manera, el evaluador corrige la postura del evaluado y lo sitúa en una silla estática (para que las gafas no detecten movimientos excesivos por error), se le indica que se coloque las gafas (puede que el evaluador deba ajustar las correas a la cabeza del evaluado) y los auriculares de diadema para asegurar una experiencia inmersiva alejándose aún más del entorno real. Además, se le explica el funcionamiento del mando inalámbrico para la mano dominante del sujeto y qué botones son los que tiene que pulsar (botón gatillo en la parte posterior del mando para el dedo índice y corazón). Tras la presentación del material, se da una explicación acerca de la atención que se debe prestar a las instrucciones que se le darán mediante los auriculares, añadiendo que éstas serán repetidas. Si la persona tiene algún tipo de corrección visual, cabe mencionar que las gafas de Realidad Virtual, debido a sus dimensiones, permiten ser utilizadas con las gafas del propio individuo, lo que la mayoría de las veces resulta necesario puesto que las gafas de Realidad Virtual simulan los mismos problemas de visión que se generan en la realidad.

2) Durante la administración es el evaluador quien verifica que todo transcurre con normalidad atendiendo a la prueba presentada en la pantalla de su ordenador. Justo antes del inicio de la prueba, el evaluador utiliza el programa de ordenador Nesplora-Control específico para cada test para introducir los datos del paciente, para dar inicio a la prueba, para finalizarla y para obtener los datos almacenados. Durante la prueba, se solicita silencio al evaluado para que pueda escuchar las instrucciones correctamente y hacer la tarea sin factores externos que repercutan en los datos.

3) Al final, el programa señala al participante y al evaluador (que supervisa la prueba desde su ordenador) que la tarea ha finalizado. Tras la administración, el evaluador puede que tenga que ayudar al evaluado a quitarse las gafas y auriculares.

Como ha sido explicado anteriormente, el instrumento de Suite consta de dos fases (Suite1 y Suite2) divididas por un intervalo. Entonces, antes de llevar a cabo la segunda parte del test, los participantes realizan una tarea de interferencia para evitar el repaso durante el intervalo de retención. De esta manera se puede explorar qué se ha consolidado en la memoria a largo plazo, medida por la 2ª parte de Suite.

La recogida de datos se realizó contrabalanceando el orden de las dos pruebas y cada instrumento fue llevado a cabo una vez por sujeto. Por otro lado, la prueba se realizó recalando a

los evaluados que la prueba no constaría como dato académico, para reducir el posible estado de estrés que pudiera causar y se escogieron lugares tranquilos y sin tránsito de personas (ej.: biblioteca, sala de estudios, etc.) para así aumentar la validez ecológica de las observaciones.

Respecto a la parte técnica de la recogida de datos, el aparato de Realidad Virtual es el dispositivo que recibe los datos de la prueba y que está conectado a través de wifi con un ordenador, que recibe los datos de cada participante en formato *json*. A cada archivo se le asigna un código de identificación (que es idéntico en las dos pruebas por cada participante) y mediante este código se unifican los resultados de ambas pruebas en un mismo archivo *csv*. Este archivo está comprendido por todos los datos brutos de variables obtenidos en ambas pruebas, así que posteriormente se seleccionaron las variables pertinentes en función de los objetivos de esta investigación (véase el Anexo 4). Posteriormente, los datos seleccionados del archivo *csv* fueron organizados y analizados con el software de computación estadística “RStudio” (RStudio Team, 2015).

RESULTADOS

Para analizar la relación entre las FE y la memoria episódica se llevó a cabo una regresión múltiple. Los tests Nesplora Ice Cream y Nesplora Suite miden una gran diversidad de variables relativas a la memoria y las FE, así que se realizó un PCA o *Principal Component Analysis* para observar distintos componentes o constructos de variables que pudiesen actuar como predictores (en el caso de las FE) y variables dependientes (en el caso de la memoria) en un modelo de regresión múltiple. De esta manera también se analizó si se diferenciaban los componentes teóricos mencionados anteriormente (componente asociativo y estratégico), y a posteriori, se analizó la regresión entre ellos con una regresión de componentes principales (PCR o *Principal Component Analysis*).

Para analizar los datos, primero se filtraron los *outliers* que son los valores atípicos distantes al resto de las observaciones. Este paso es necesario para poder realizar el siguiente análisis, el PCA o Análisis de Componentes Principales, que es altamente sensible a los *outliers*. En este estudio, fueron filtrados un total de 4 *outliers*, dejando una muestra de 217 sujetos a analizar. El análisis de outliers fue realizado a través de un gráfico de Cooks Distance con el Test de Rosner para cada variable, que inforba de la existencia de *outliers* y de su localización (véase el Anexo 5).

El segundo paso fue realizar el PCA que es una técnica que “condensa” observaciones de

múltiples variables posiblemente correlacionadas o que se comportan de manera similar y crea grupos diferentes relativos a las variables, llamados componentes principales. Los datos de cada sujeto se ordenan en función de la varianza que explican respecto a la muestra. Con este método, se obtuvieron 6 componentes que explicaron una proporción de varianza acumulada de 0,7652. Los componentes fueron nombrados de la siguiente manera: “Aprendizaje” (que agrupa las variables aciertos sin mirar el *libro de recetas*, aciertos consecutivos y diferencia de ganancia o pérdida de la P1), “**Memoria estratégica**” (que agrupa las variables recuerdo libre a largo plazo, intrusiones a lo largo del test y diferencia de ganancia o pérdida de aciertos de helados entre la P1 y la P2 de Nesplora Ice Cream), “**Flexibilidad**” (que agrupa las variables la diferencia o aprendizaje de P2 de Nesplora Ice Cream, total de helados correctamente entregados y diferencia de tiempo transcurrido desde la pulsación del avatar hasta que se le entrega el helado en P1 y P2 de Nesplora Ice Cream), “Memoria prospectiva” (que agrupa las variables aciertos en la tarea de memoria prospectiva y diferencia de aciertos en las repeticiones de la tarea 1), “**Memoria asociativa**” (que agrupa las variables tarea de reconocimiento, tarea de memoria de la fuente y tarea uno de repeticiones o ensayo) y “**Planificación**” (que agrupa las variables turnos asignados correctamente y tiempo en encender la máquina de helados) (véase la tabla 4 del Anexo 6). El PCA, además de proponer en qué componentes o ejes se agrupaban las variables, fue útil para escalar las variables debido a que muchas pertenecían a escalas diferentes (ej.: milisegundos y aciertos), y así poder hacer la regresión múltiple.

Por último, se realizó la regresión múltiple mediante PCR y de esta manera, se obtuvieron modelos de predicción entre componentes y variables. La regresión múltiple fue llevada a cabo teniendo en cuenta los componentes del PCA y se analizó teniendo en cuenta los dos componentes de memoria, el asociativo (observaciones de reconocimiento, ensayo y memoria de la fuente) y el estratégico (observaciones de recuerdo libre), así que cada variable incluida en cada componente de memoria fue utilizada a modo de variable dependiente. Asimismo, los componentes referidos a las FE (los componentes flexibilidad y planificación) fueron empleados a modo de predictores. De esta manera, a cada variable dependiente de memoria relacionada a un componente se le formó un modelo de regresión para ver con qué eficacia predecían los componentes de las FE (en conjunto). Una de las aplicaciones más importantes del PCR es que se crean modelos de predicción con las variables y componentes de regresión y se pueden “entrenar” para mostrar la diferencia entre los valores predichos por dicha regresión y los observados (por el modelo de regresión), es decir cuanta

menor diferencia observada más fiable es el modelo de predicción. Esta ejecución muestra un valor de error relativo a la diferencia llamado RMSE (error cuadrático medio) y para informar de la predicción se usa el parámetro R^2 .

Así que, en base a esos los resultados manifestaron que, las FE no predecían al componente de memoria episódica asociativa en la adolescencia, definida por las variables de tareas de reconocimiento ($R^2=0,04$; $RMSE=1,313$), memoria de la fuente ($R^2=0,08$; $RMSE=1,440$) y ensayo ($R^2=0,11$; $RMSE=4,959$) (véase la tabla 5 del Anexo 7). Además, el RMSE generalizado era bajo, por lo que la predicción sobre la relación entre el componente asociativo y FE era fiable para este modelo. A su vez, las FE no predecían de manera significativa la memoria episódica estratégica, definida por la tarea de recuerdo libre con interrupción ($R^2=0,10$; $RMSE=3,707$), recuerdo libre sin interrupción ($R^2=0,15$; $RMSE=3,434$) e intrusiones ($R^2=0,15$; $RMSE= 8,002$) (véase la tabla 5 del Anexo 7). El RMSE para este modelo fue moderado por lo que la predicción no resultó ser fiable (véase las figuras 7,8,9 y 10 del Anexo 7). No obstante, la regresión de las FE con la variable de la mejora o pérdida de aciertos a la hora de entregar helados (también agrupada en el componente de memoria estratégica) resultó ser significativa ($R^2=0,85$) y a su vez se observaron unos parámetros de regresión altos (véase la tabla 5 y la figura 10). Sin embargo, mostró un error de predicción igualmente moderado ($RMSE=6,720$) en el entrenamiento.

DISCUSIÓN

Por una parte, en el PCA las tareas de recuerdo libre a largo plazo se agruparon en un mismo componente que fue interpretado como el componente estratégico de la memoria episódica siguiendo las propuestas anteriores (Shing et al., 2010; Ranganath, 2010). Además, estas tareas se relacionan al funcionamiento del CPF que a su vez se asocia también al componente estratégico. Por otra parte, se destacó un segundo componente que se denominó memoria episódica asociativa en el que se agruparon las tareas de reconocimiento, memoria inversa y el *spam* directo a corto plazo, relacionados al modelo BIC y a su vez al funcionamiento del área temporal medial lateral (Shing et al., 2010; Ranganath et al., 2010). Dicho brevemente, el PCA evidenció la existencia de los componentes mencionados por Shing et al. (2010) y Eichenbaum et al. (2007) pero con una muestra de adolescentes.

Respecto a los resultados de regresión entre los componentes de memoria y las FE, se confirma la primera hipótesis del estudio, que la memoria episódica asociativa no está predicha por las FE,

sugiriendo así un rendimiento y por lo tanto desarrollo (en la adolescencia) diferencial como el que sugieren Shing et al. (2010) y que es coherente con la idea de que es una capacidad madura desde la niñez. De esta manera, se podría inferir un desarrollo diferencial entre las FE que se sustentan en el CPF y la memoria episódica asociativa dependiente del área temporal medial lateral, como propone el modelo BIC de Eichenbaum et al. (2007). En otras palabras, un alto o bajo rendimiento en las FE no predice el rendimiento en tareas asociativas de reconocimiento, memoria de la fuente y *spam* directo a corto plazo, y por lo tanto de la memoria episódica asociativa.

En segundo lugar, el estudio se ha visto limitado para evidenciar el poder predictivo de las FE sobre la memoria episódica estratégica en esta etapa del desarrollo. Ante este incumplimiento de la segunda hipótesis cabe plantearse si esto es debido a que realmente las FE y el componente estratégico de la memoria episódica maduran de manera independiente o debido a factores específicos de este estudio. Por ejemplo, el hecho de utilizar una muestra de edades comprendidas entre 12 y 16 años puede estar introduciendo una gran variabilidad en las puntuaciones. Por tanto, sería interesante emplear otros tipos de análisis que se ajusten mejor a la función no lineal que pueda haber en la muestra (ej.:GAM (Generalized Additive Model). Y, en cualquier caso, los resultados sobre este aspecto no terminan de ser lo suficientemente concluyentes, por lo que es necesaria mayor investigación al respecto.

Por lo tanto, este estudio ha sido significativo para demostrar que existen dos componentes de memoria episódica y que se comportan de manera diferente en el período de la adolescencia. Además, ha mostrado evidencia de que el componente de la memoria asociativa (relacionado al área temporal medial lateral) tiene un desarrollo diferencial respecto a las FE (CPF).

Con la mirada puesta al futuro, sería deseable implementar diseños de neuroimagen compatibles con los sistemas electrónicos de Realidad Virtual para estudios longitudinales que permitan comparar la actividad cerebral en diferentes grupos de edad durante tareas de FE y memoria episódica especialmente la estratégica, de modo que se puedan discernir las diferencias de desarrollo de la reorganización neural del comportamiento.

REFERENCIAS

- Alvarez, J. A., y Emory, E. (2006). Executive Function and the Frontal Lobes: A Meta-Analytic Review. *Neuropsychology Review*, 16(1). <https://doi.org/10.1007/s11065-006-9002-x>
- Anderson, V. A., Anderson, P., Northam, E., Jacobs, R., y Catroppa, C. (2001). Development of executive functions through late childhood and adolescence in an Australian sample. *Developmental Neuropsychology*, 20(1), 385-406. https://doi.org/10.1207/S15326942DN2001_5
- Atkinson, R.C., y Shiffrin, R.M. (1968). *Human Memory: A Proposed System and its Control Processes*. *Psychology of Learning and Motivation*. 2(1), 89–195. [https://doi.org/10.1016/S0079-7421\(08\)60422-3](https://doi.org/10.1016/S0079-7421(08)60422-3)
- Baddeley, A. (2010). Working memory. *Current Biology*, 20(4), 136–140. <https://doi.org/10.1016/J.CUB.2009.12.014>
- Baddeley, A. D., y Hitch, G. (1974). Working memory. *Psychology of Learning and Motivation* 8(1), 47-89. [https://doi.org/10.1016/S0079-7421\(08\)60452-1](https://doi.org/10.1016/S0079-7421(08)60452-1)
- Barbey, A. k., Koenigs, M., y Grafman, F. (2013). Dorsolateral prefrontal contributions to human working memory. *Cortex*. 49(5), 1195-1205. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2012.05.022>
- Blakemore, S. J., y Choudhury, S. (2006). Development of the adolescent brain: implications for executive function and social cognition. *Journal of child psychology and psychiatry*, 47(3-4), 296-312. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.2006.01611.x>
- Blakemore, S. J., Burnett, S., y Dahl, R. E. (2010). The role of puberty in the developing adolescent brain. *Human brain mapping*, 31(6), 926-933. <https://doi.org/10.1002/hbm.21052>
- Blakemore, S. J. (2012). Imaging brain development: the adolescent brain. *Neuroimage*, 61(2), 397-406. <https://doi.org/10.1016/J.NEUROIMAGE.2011.11.080>
- Brown, A. (1975). The development of memory: Knowing, knowing about knowing, and knowing how to know, 10(1), 103-152. [https://doi.org/10.1016/S0065-2407\(08\)60009-9](https://doi.org/10.1016/S0065-2407(08)60009-9)

- Bryden, D. W., y Roesch, M. R. (2015). Executive control signals in orbitofrontal cortex during response inhibition. *Journal of Neuroscience*, 35(9), 3903–3914. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.3587-14.2015>
- Burnett, S., Sebastian, C., Kadosh, K. C., y Blakemore, S. J. (2011). The social brain in adolescence: evidence from functional magnetic resonance imaging and behavioural studies. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 35(8), 1654-1664. <https://doi.org/10.1016/J.NEUBIOREV.2010.10.011>
- Cabeza, R. y Nyberg, L. (2000). Neural bases of learning and memory: functional neuroimaging evidence. *Current Opinion in Neurology*, 13(4), 415-421. <https://doi.org/10.1097/00019052-200008000-00008>
- Casey, B. J., Trainor, R. J., Orendi, J. L., Schubert, A. B., Nystrom, L. E., Giedd, J. N., ... y Rapoport, J. L. (1997). A developmental functional MRI study of prefrontal activation during performance of a go-no-go task. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 9(6), 835-847. <https://doi.org/10.1162/jocn.1997.9.6.835>
- Casey, B. J., Giedd, J. N., y Thomas, K. M. (2000). Structural and functional brain development and its relation to cognitive development. *Biological Psychology*, 54(1–3), 241–257. [https://doi.org/10.1016/S0301-0511\(00\)00058-2](https://doi.org/10.1016/S0301-0511(00)00058-2)
- Casey, B. J., Tottenham, N., y Fossella, J. (2002). Clinical, imaging, lesion, and genetic approaches toward a model of cognitive control. *Developmental Psychobiology: The Journal of the International Society for Developmental Psychobiology*, 40(3), 237-254. <https://doi.org/10.1002/dev.10030>
- Casey, B. J., Getz, S., y Galvan, A. (2008). The adolescent brain. *Developmental Review*, 28(1), 62–77. <https://doi.org/10.1016/J.DR.2007.08.003>
- Cohen, M. X. (2014). *Analyzing neural time series data: theory and practice*. MIT press.
- Córdoba, D. A., Albert, J., y López, S. (2010). Potenciación a largo plazo en la corteza humana. *Rev Neurol*, 51(6), 367-74.

- Climent, G., y Tirapu, J. (2021). *Manual de Ice Cream* (Manual no publicado). Giunti Nesplora, Madrid, España. <https://app.nesplora.com/es/user/library>
- Climent, G., y Díaz Orureta, U. (2022). *Manual de Suite* (Manual no publicado). Giunti Nesplora, Madrid, España. <https://app.nesplora.com/es/user/library>
- D'Ardenne, K., Eshel, N., Luka, J., Lenartowicz, A., Nystrom, L. E., y Cohen, J. D. (2012). Role of prefrontal cortex and the midbrain dopamine system in working memory updating. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(49), 19900-19909. <https://doi.org/10.1073/pnas.1116727109>
- Davidow, J. Y., Foerde, K., Galván, A., y Shohamy, D. (2016). An upside to reward sensitivity: the hippocampus supports enhanced reinforcement learning in adolescence. *Neuron*, 92(1), 93-99. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2016.08.031>
- Díaz-Orureta, U., Lizarazu, B., Climent, G. y Banterla, F. (2014). Virtual, Augmented Reality and Serious Games for Healthcare, *1*, (233-255). https://doi.org/10.1007/978-3-642-4816-1_13
- Eichenbaum, H., Yonelinas, A. P., y Ranganath, C. (2007). *The Medial Temporal Lobe and Recognition Memory*. <https://doi.org/10.1146/annurev.neuro.30.051606.094328>
- Feldman, R. S. (2005). *Psicología con aplicaciones en países de habla hispana*. México: McGraw Hill. ISBN 978-607-15-0287-2
- Finn, A. S., Sheridan, M. A., Hudson Kam, C. L., Hinshaw, S., y D'Esposito, M. (2010). Longitudinal evidence for functional specialization of the neural circuit supporting working memory in the human brain. *Journal of Neuroscience*, 30(33), 11062–11067. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.6266-09.2010>
- Friston, K. J., Frith, C. D., Liddle, P. F., y Frackowiak, R. S. (1993). Functional connectivity: the principal-component analysis of large (PET) data sets. *Journal of Cerebral Blood Flow & Metabolism*, 13(1), 5-14. <https://doi.org/10.1038/jcbfm.1993.4>

- Funahashi, S. (2017). Working memory in the prefrontal cortex. *Brain sciences*, 7(5), 49. <https://doi.org/10.3390/brainsci7050049>
- Giedd, J. N., Blumenthal, J., Jeffries, N. O., Castellanos, F. X., Liu, H., Zijdenbos, A., ... y Rapoport, J. L. (1999). Brain development during childhood and adolescence: a longitudinal MRI study. *Nature Neuroscience*, 2(10), 861-863. <https://doi.org/10.1038/13158>
- Giunti Nesplora. (2021). Datos de la Justificación Estadística de Nesplora Ice Cream. <https://app.nesplora.com/es/user/library>
- Giunti Nesplora. (2022). Datos de la Justificación Estadística de Nesplora Suite. <https://app.nesplora.com/es/user/library>
- Goddings, A. L., Mills, K. L., Clasen, L. S., Giedd, J. N., Viner, R. M., y Blakemore, S. J. (2014). The influence of puberty on subcortical brain development. *NeuroImage*, 88, 242–251. <https://doi.org/10.1016/J.NEUROIMAGE.2013.09.073>
- Hannula, D. E., y Ranganath, C. (2009). The Eyes Have It: Hippocampal Activity Predicts Expression of Memory in Eye Movements. *Neuron*, 63(5), 592–599. <https://doi.org/10.1016/J.NEURON.2009.08.025>
- Higgins A. y Turnure J. (1984). "Distractibility and concentration of attention in children's development". *Child Development*, 55 (5), 1799–1810. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.1984.tb00422.x>
- Huttenlocher, P. R. (1979). Synaptic density in human frontal cortex-developmental changes and effects of aging. *Brain Res*, 163(2), 195-205. [https://doi.org/10.1016/0006-8993\(79\)90349-4](https://doi.org/10.1016/0006-8993(79)90349-4)
- Kali R.V. y Ferrer E. (2007). "Processing speed in childhood and adolescence: Longitudinal models for examining developmental change". *Child Development*. 78 (6): 1760–1770. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2007.01088.x>
- Kim-Cohen, J., Caspi, A., Moffitt, T. E., Harrington, H., Milne, B. J., y Poulton, R. (2003). Prior juvenile diagnoses in adults with mental disorder: developmental follow-back of a prospective-longitudinal cohort. *Archives of General Psychiatry*, 60(7), 709-717.

- Koziol, L. F., Budding, D. E., y Chidekel, D. (2012). From movement to thought: Executive function. *Embodied Cognition, and the Cerebellum*, 11(2), 505-525. <https://doi.org/10.1007/s12311-011-0321-y>
- Lerner, R. M., y Steinberg, L. (2009). The scientific study of adolescent development. *Handbook of Adolescent Psychology*, 2, 1-12.
- Lezak, M. D. (1982). The problem of assessing executive functions. *International journal of Psychology*, 17(1-4), 281-297. <https://doi.org/10.1080/00207598208247445>
- Luna, B., Thulborn, K. R., Munoz, D. P., Merriam, E. P., Garver, K. E., Minshew, N. J., Keshavan, M. S., Genovese, C. R., Eddy, W. F., y Sweeney, J. A. (2001). Maturation of widely distributed brain function subserves cognitive development. *Neuroimage*, 13(5), 786-793. <https://doi.org/10.1006/NIMG.2000.0743>
- Luna, B., Padmanabhan, A., y O’Hearn, K. (2010). What has fMRI told us about the development of cognitive control through adolescence? *Brain and cognition*, 72(1), 101-113. <https://doi.org/10.1016/J.BANDC.2009.08.005>
- Mander, B. A., Rao, V., Lu, B., Saletin, J. M., Lindquist, J. R., Ancoli-Israel, S., ... y Walker, M. P. (2013). Prefrontal atrophy, disrupted NREM slow waves and impaired hippocampal-dependent memory in aging. *Nature Neuroscience*, 16(3), 357-364. <https://doi.org/10.1038/nn.3324>
- Miller, G. A. (1956). The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review*, 63(2), 81–97. <https://doi.org/10.1037/h0043158>
- Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., Howerter, A., y Wager, T. D. (2000). The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex “frontal lobe” tasks: A latent variable analysis. *Cognitive Psychology*, 41(1), 49-100. <https://doi.org/10.1006/COGP.1999.0734>
- Moscovitch, M. (1992). Memory and working-with-memory: A component process model based on modules and central systems. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 4(3), 257-267. <https://doi.org/10.1162/jocn.1992.4.3.257>

- Noroozian, M. (2014). The role of the cerebellum in cognition: beyond coordination in the central nervous system. *Neurologic clinics*, 32(4), 1081-1104. <https://doi.org/10.1016/j.ncl.2014.07.005>
- Organización Mundial de la Salud. (2019). Directrices para las consideraciones éticas en la planificación y evaluación de estudios de investigación sobre salud sexual y reproductiva en adolescentes. Organización Mundial de la Salud. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/311863>
- Owen, A.M. (2000). The role of the lateral frontal cortex in mnemonic processing: The contribution of functional neuroimaging. *Experimental Brain Research*, 133, 33- 43. <https://doi.org/10.1007/s002210000398>
- Paterson, S. J., Heim, S., Thomas Friedman, J., Choudhury, N., y Benasich, A. A. (2006). Development of structure and function in the infant brain: Implications for cognition, language and social behaviour. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 30(8), 1087–1105. <https://doi.org/10.1016/J.NEUBIOREV.2006.05.001>
- Paus, T., Zijdenbos, A., Worsley, K., Collins, D. L., Blumenthal, J., Giedd, J. N., ... y Evans, A. C. (1999). Structural maturation of neural pathways in children and adolescents: in vivo study. *Science*, 283(5409), 1908-1911. <https://doi.org/10.1126/science.283.5409.1908>
- Powell, K. (2006). Neurodevelopment: how does the teenage brain work?. *Nature*, 442(7105), 865-868.
- Preston, A. R., y Eichenbaum, H. (2013). Interplay of hippocampus and prefrontal cortex in memory. *Current Biology*, 23(17), 764–773. <https://doi.org/10.1016/J.CUB.2013.05.041>
- Ranganath, C. (2010). A unified framework for the functional organization of the medial temporal lobes and the phenomenology of episodic memory. *Hippocampus*, 20(11), 1263–1290. <https://doi.org/10.1002/hipo.20852>
- Rogers, P. R., Miller, A., y Judge, W. Q. (1999). Using information-processing theory to understand planning/performance relationships in the context of strategy. *Strategic management journal*, 20(6), 567-577. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0266\(199906\)20:6<567::AID-SMJ36>3.0.CO;2-K](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0266(199906)20:6<567::AID-SMJ36>3.0.CO;2-K)

- RStudio Team (2015). RStudio: Integrated Development for R. RStudio, Inc., Boston, MA.
<http://www.rstudio.com>
- Schacter, D. L. y Tulving, E. (1994). What are the memory systems of 1994? En D.L. Schacter y E. Tulving (Eds.), *Memory systems 1994* (pp. 1-38). Cambridge, MA: The MIT Press.
- Scherf, K. S., Sweeney J. A. y Luna, B. (2006) "Brain Basis of Developmental Change in Visuospatial Working Memory," in *Journal of Cognitive Neuroscience*, 18 (7), 1045-1058.
<https://doi.org/10.1162/jocn.2006.18.7.1045>
- Shaw, P., Kabani, N. J., Lerch, J. P., Eckstrand, K., Lenroot, R., Gogtay, N., Greenstein, D., Clasen, L., Evans, A., Rapoport, J. L., Giedd, J. N., y Wise, S. P. (2008). Neurodevelopmental trajectories of the human cerebral cortex. *Journal of neuroscience*, 28(14), 3586-3594.
<https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.5309-07.2008>
- Shing, Y. L., Werkle-Bergner, M., Brehmer, Y., Müller, V., Li, S. C., y Lindenberger, U. (2010). Episodic memory across the lifespan: The contributions of associative and strategic components. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 34(7), 1080-1091.
<https://doi.org/10.1016/J.NEUBIOREV.2009.11.002>
- Sigurdsson, T., y Duvarci, S. (2016). Hippocampal-prefrontal interactions in cognition, behavior and psychiatric disease. *Frontiers In Systems Neuroscience*, 9, 190.
<https://doi.org/10.3389/fnsys.2015.00190>
- Sowell, E. R., Thompson, P. M., Holmes, C. J., Batth, R., Jernigan, T. L., y Toga, A. W. (1999). Localizing age-related changes in brain structure between childhood and adolescence using statistical parametric mapping. *Neuroimage*, 9(6), 587-597.
<https://doi.org/10.1006/NIMG.1999.0436>
- Sowell, E. R., Delis, D., Stiles, J., y Jernigan, T. L. (2001). Improved memory functioning and frontal lobe maturation between childhood and adolescence: a structural MRI study. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 7(3), 312-322.
<https://doi.org/10.1017/S135561770173305X>

- Sowell, E. R., Trauner, D. A., Gamst, A., y Jernigan, T. L. (2002). Development of cortical and subcortical brain structures in childhood and adolescence: a structural MRI study. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 44(1), 4-16. <https://doi.org/10.1017/S0012162201001591>
- Sowell, E. R., Peterson, B. S., Thompson, P. M., Welcome, S. E., Henkenius, A. L., y Toga, A. W. (2003). Mapping cortical change across the human life span. *Nature Neuroscience*, 6(3), 309-315. <https://doi.org/10.1038/nm1008>
- Steinberg, L. (2010). A dual systems model of adolescent risk-taking. *Developmental Psychobiology: The Journal of the International Society for Developmental Psychobiology*, 52(3), 216-224. <https://doi.org/10.1002/dev.20445>
- Trutti, Anne C.; Mulder, Martijn J.; Hommel, Bernhard; Forstmann, Birte U. (2019-05-01). "Functional neuroanatomical review of the ventral tegmental area". *NeuroImage*. 191: 258–268. <https://doi.org/10.1016/J.NEUROIMAGE.2019.01.062>
- Tulving, E., 1972. Episodic and semantic memory. En: Tulving ,E., Donaldson, W. (Ed) *Organization of Memory*. Academic Press, New York, 381-403
- Tulving, E., Kapur, S., Craik, F. I., Moscovitch, M., y Houle, S. (1994). Hemispheric encoding/retrieval asymmetry in episodic memory: Positron emission tomography findings. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 91(6), 2016-2020. <https://doi.org/10.1073/pnas.91.6.2016>
- Wheeler, M.A., Stuss, D.T., y Tulving, E. (1995). Frontal lobe damage produces episodic memory impairment. *Journal of the International Neuropsychological Society*. 1(6) 525-536. <https://doi.org/10.1017/S1355617700000655>

ANEXOS

Anexo 1. Entorno virtual de los test Nesplora

Figura 1.

Entorno virtual de la heladeria de Nesplora Ice Cream.



Figura 2

Entorno virtual de la tienda de muebles de Nesplora Suite.



Anexo 2. Tareas de Nesplora Ice Cream

Figura 3

Descripción de cada serie (4 clientes) = un turno.

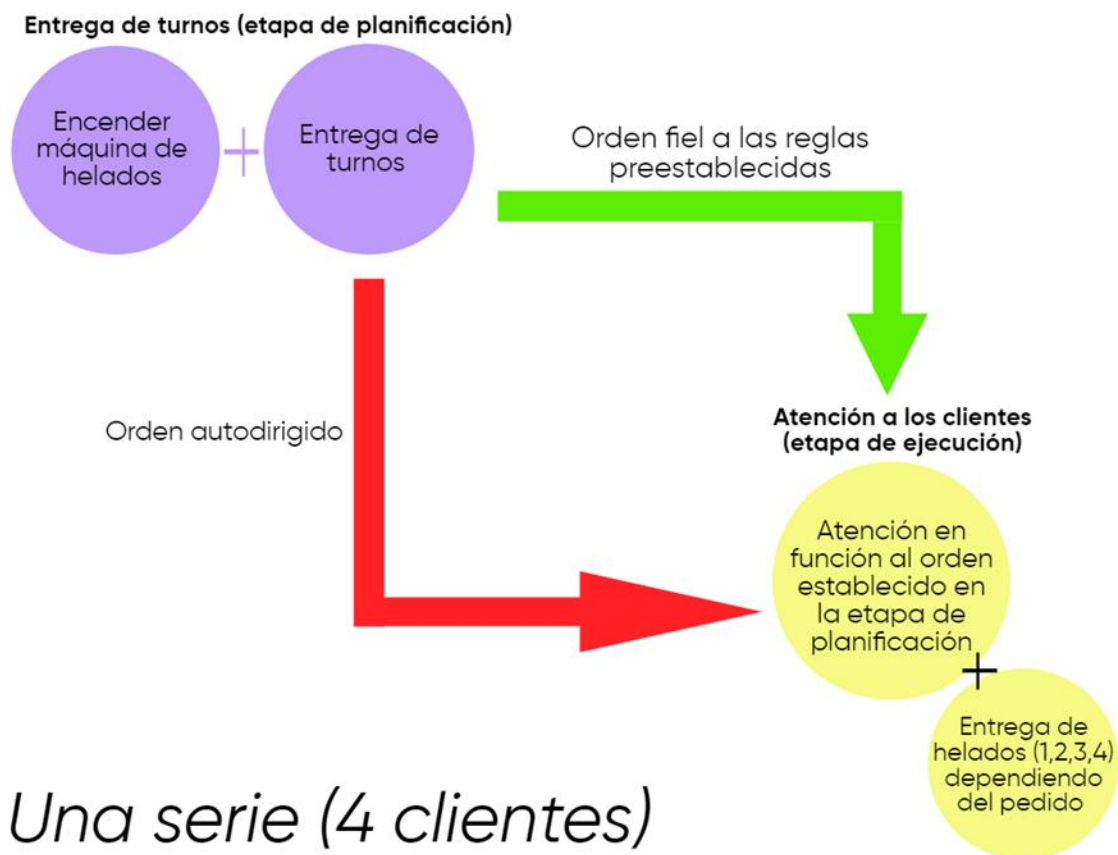
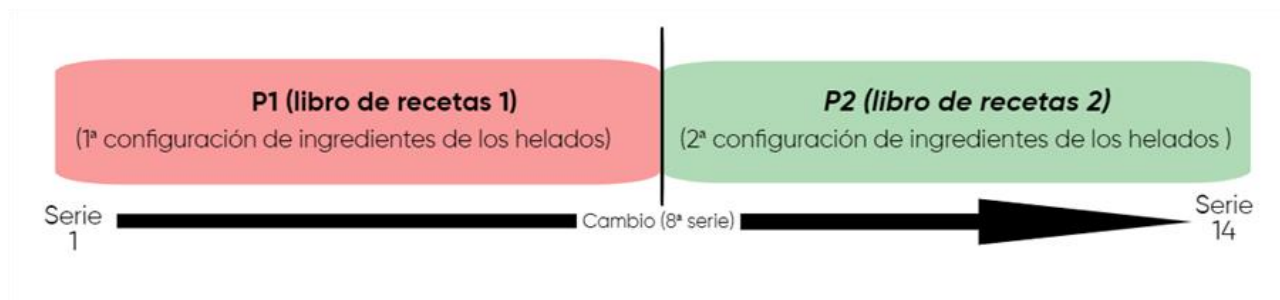


Figura 4

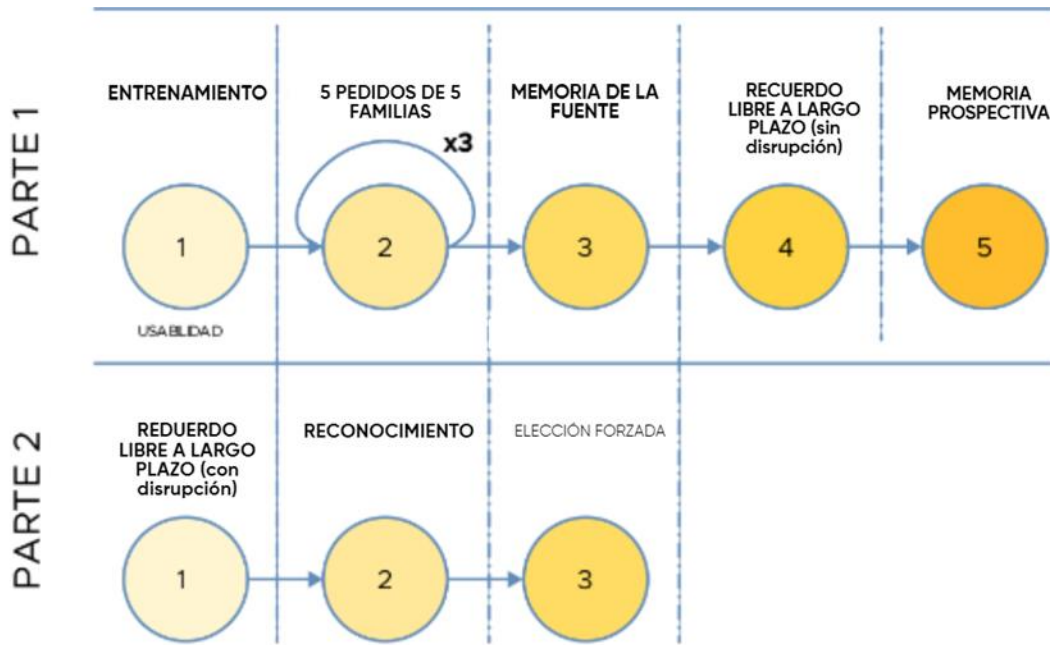
Cambio de configuración de ingredientes de los helados a lo largo de las 14 series.



Anexo 3. Tareas de Nesplora Suite

Figura 5

Explicación de tareas de Nesplora Suite.



Nota: Las observaciones de la última tarea “elección forzada” no han sido empleadas en el presente estudio. Tomado del Manual de Suite (Climent y Díaz Orureta, 2022)

Anexo 4. Variables escogidas

Tabla 1

Leyenda de variables escogidas de Nesplora Ice Cream para el presente estudio: 11.

Variable	Descripción
s1_h_score_n	Número de helados correctos entregados de forma correcta sin mirar el libro de recetas en los turnos de P1
s2_h_score_n	Número de helados correctos entregados de forma correcta sin mirar el libro de recetas en los turnos de P2
t_h_score_n	Número de helados correctos entregados de forma correcta sin mirar el libro de recetas en todos los turnos
t_h_rawscore_n	Número de helados entregado correctamente, independientemente de consultar o no la referencia en todas las rondas
t_consecutive_correct_n	Número de helados consecutivos correctos sin mirar el libro de recetas en todas los turnos. Suma de aciertos después de un acierto sin mirar el libro de recetas. Los aciertos de un set a otro no se consideran consecutivos. Para que sean aciertos consecutivos deben producirse dentro de un mismo set. $t_consecutive_correct_n = s1_consecutive_correct_n$ (aciertos consecutivos de P1) + $s2_consecutive_correct_n$ (aciertos consecutivos de P2)
slope_s_h_rawscore_n	Pendiente porcentual de la diferencia de ángulos entre P2 vs P1 para $t_h_rawscore_n$ (número de helados entregados correctamente)
slope_h_switching	Pendiente porcentual de la diferencia de ángulos entre $r08:09_h_totaltime_ms$ (tiempo transcurrido desde la pulsación del avatar hasta que se le entrega el helado en P1) y $r06:07_h_totaltime_ms$ (tiempo transcurrido desde la pulsación del avatar hasta que se le entrega el helado en P2); atención alterna, cambio de foco.
t_tu_total_correct_n	Número de turnos asignados correctamente
prospective_planning	Función de $t_h_startdelay_ms$ (tiempo desde que se da el último turno hasta que se pulsa el botón de encendido de la máquina de helados en él todas las rondas)= $t_h_startdelay_ms/2$
t_learning	Variable compuesta del aprendizaje de P1
noflexibility_learning	Variable compuesta sacada del aprendizaje de P2

Origen: Datos de la Justificación Estadística de Nesplora Ice Cream (Giunti Nesplora, 2021)

Tabla 2

Leyenda de variables escogidas de Nesplora Ice Cream para el presente estudio: 8.

Variable	Descripción
Task01_correct_n	Sumatorio de las 15 variables task01.PEx.correct.n (Tarea 1, tres repeticiones)
Task03_correct_n	Total de muebles correctamente pulsados (Tarea 3, recuerdo libre sin disrupción)
Task05_correct_n	Total de muebles correctamente pulsados (Tarea 5, recuerdo libre tras la disrupción)
task02_fam_correct_n	N total de familias pulsadas correctamente (Tarea 2, memoria de la fuente)
T_intr_n	Suma total de intrusiones o sum (task01.PEx.int.n, task03.PEx.int.n, task05.PEx.int.n)
task04_correct_n	Pulsación sobre el interruptor (Tarea 4, memoria prospectiva)
task01_learning	Pendiente entre las tres repeticiones de la tarea 1 (task01)
task06_correct_n	Total de botones verdes y botones rojos pulsados correctamente (tarea 6, reconocimiento)

Origen: Datos de la Justificación Estadística de Nesplora Suite (Giunti Nesplora, 2022).

Anexo 5. Análisis de datos - Eliminación de *outliers*

Figura 6

Outliers en el gráfico de Cooks Distance.

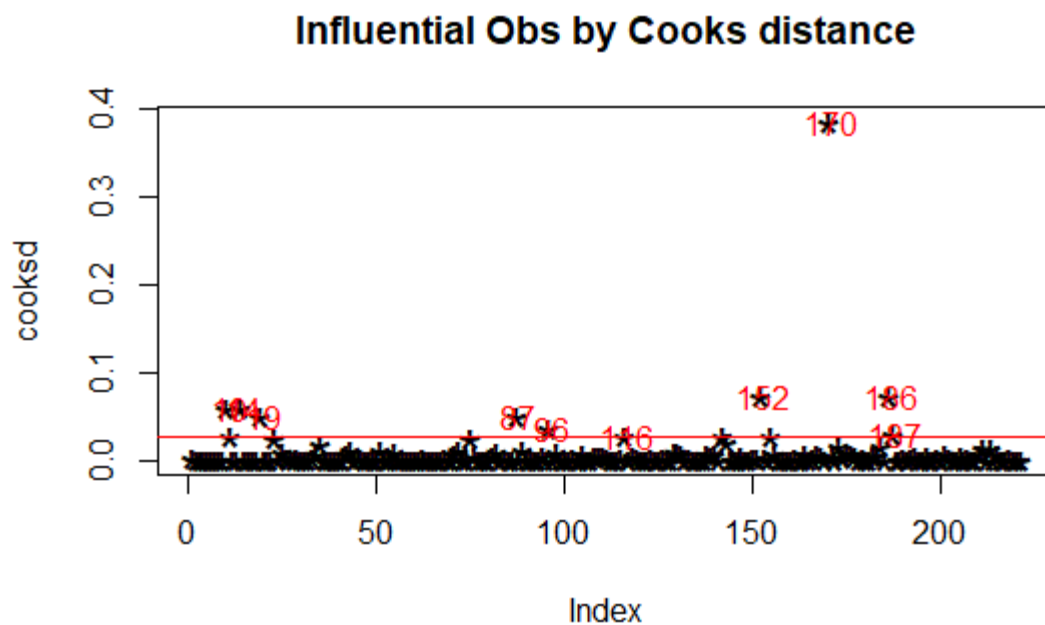


Tabla 3

Test de Rosner para la detección de outliers (4 outliers detectados).

Variable	Obs. Num (Posición del participante) con <i>outliers</i>
s2_h_score_n	19
t_h_score_n	19
t_h_rawscore_n	19
slope_rawscore	19
noflexibility_learning	19
t_learning	19
s2_h_score_n	152
t_consecutive_correct_n	152

s1_h_score_n	186
task01_correct_n	170

Anexo 6. Análisis de datos – Análisis de Componentes Principales (PCA)

Tabla 4

<i>variable</i>	APRENDI ZAJE (pc1)	Memoria semántic a ESTRATÉ GICA (pc2)	FLEXIBIL IDAD (pc3)	MEMORI A PROSPE CTIVA (pc4)	Memoria semántic a ASOCIATI VA (pc5)	PLANIFI CACIÓN (pc6)
<i>s2_h_scor e_n</i>	- 0.3564594 71637163 85					
<i>t_h_score_ n</i>	- 0.3489146 91327597 8					
<i>t_h_rawsc ore_n</i>	- 0.3430879 17895142 7					
<i>t_consecuti ve_correct _n</i>	- 0.3555736 53054050 64					
<i>t_learning</i>	- 0.3490341 36696245 83					
<i>t_intr_n</i>		0.2890719 87121905 96				
<i>slope_s_h _rawscore _n</i>		- 0.3248758 71957720 2	0.310593 12463519 35			
<i>task03_cor rect_n</i>		- 0.4286439				

		00921863 9				
<i>task05_cor rect_n</i>		- 0.3467918 82731936 84				
<i>noflexibility _learning</i>			- 0.382823 30743187 59			
<i>s1_h_scor e_n</i>			0.522935 26873407 01			
<i>slope_h_s witching</i>			- 0.275362 30945516 29			
<i>task04_cor rect_n</i>				- 0.473892 64942121 51		
<i>task01_lea rning</i>				- 0.609893 02279233 96		
<i>task01_cor rect_n</i>					- 0.3045664 94755522 05	
<i>task02_fa m_correct_ n</i>					0.4525287 34572281 65	
<i>task06_cor rect_n</i>					- 0.4346118 61311318 9	

<i>t_tu_total_ correct_n</i>						0.693122 96653718 77
<i>prospectiv e_planning</i>						- 0.571456 12444939 22

Nota: Para ver el significado de las variables véase las tablas 1 y 2 del Anexo 4.

Anexo 7. Análisis de datos – Regresión de Componentes Principales (PCR)

Tabla 5

Las FE (componentes de flexibilidad y planificación) predicen a la memoria episódica estratégica y asociativa de la siguiente manera:

	Variab les	R²	RMSE
Componentes de memoria estratégica	Task05_correct_n	0,10	3,707
	Task03_correct_n	0,15	3,434
	T_intr_n	0,16	8,002
	Slope_s_h_rawscore_n	0,85	6,72
Componentes de memoria asociativa	Task01_correct_n	0,12	4,959
	Task06_correct_n	0,04	1,313
	Task02_fam_correct_n 3	0,09	1,440

Anexo 8. Hardware de los instrumentos.

Figura 7

Gafas de Realidad Virtual Oculus Quest 2, para Nesplora Ice Cream.



Figura 8

Gafas de Realidad Virtual Samsung Gear, para Nesplora Suite.

