



Universidad Internacional de La Rioja  
Facultad de Ciencias de la Educación y Humanidades

Máster Universitario en Neuropsicología y Educación  
**Memoria de trabajo visoespacial,  
razonamiento lógico matemático y  
geometría: un punto de vista desde la  
Física para alumnado de 15 a 16 años**

Trabajo fin de estudio presentado por:	Mónica Belén Olvera Gorts
Modalidad de trabajo:	Proyecto de investigación
Director/a:	Germán Vega Flores
Fecha:	Badajoz, febrero, 2026

## Resumen

Ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas son disciplinas en las que el alumnado español no ha adquirido competencia suficiente. Es particularmente importante haber alcanzado un grado de desempeño adecuado en geometría y razonamiento lógico-matemático para abordar con éxito el aprendizaje de la física. Los estudios experimentales en neuropsicología evidencian que la memoria de trabajo visoespacial es predictora del logro en geometría y está relacionada con el razonamiento deductivo. El objetivo de este proyecto de investigación es analizar si existe una relación causal entre la memoria de trabajo visoespacial y el rendimiento académico asociado al razonamiento lógico-matemático aplicado a la geometría en estudiantes de Física de 4º de educación secundaria obligatoria. Sobre una muestra de 60 estudiantes, y bajo un enfoque metodológico cuasiexperimental con grupo de control no equivalente, se realizarán medidas pretest de la memoria de trabajo visoespacial y del rendimiento académico en razonamiento lógico-matemático aplicado a la geometría en dos grupos; posteriormente se aplicará un programa de entrenamiento de la memoria de trabajo visoespacial a uno de ellos; finalmente se realizarán medidas post-test a ambos grupos. Se espera que sólo mejore la memoria de trabajo visoespacial del grupo intervenido y que esta mejora se traduzca en un aumento genérico del rendimiento académico en razonamiento lógico-matemático aplicado a la geometría en ese grupo. Este resultado abriría la posibilidad de emplear programas de entrenamiento de la memoria de trabajo visoespacial como recurso educativo de aula, con el consecuente efecto de mejora en el rendimiento académico en razonamiento lógico-matemático aplicado a la geometría del alumnado.

**Palabras clave:** Memoria de trabajo visoespacial, rendimiento académico, razonamiento lógico-matemático, geometría, programa de entrenamiento memoria de trabajo visoespacial, 4º educación secundaria obligatoria.

## Abstract

Science, technology, engineering and mathematics are disciplines in which Spanish students have not acquired sufficient competence. It is particularly important to have achieved an adequate degree of performance in geometry and logical-mathematical reasoning to successfully approach the learning of physics. Experimental studies in neuropsychology show that visuospatial working memory is a predictor of achievement in geometry and is related to deductive reasoning. The aim of this research project is to analyse whether there is a causal relationship between visuospatial working memory and academic performance associated with logical-mathematical reasoning applied to geometry in Physics students in the 4th year of compulsory secondary education. On a sample of 60 students, and under a quasi-experimental methodological approach with a non-equivalent control group, pre-test measurements of visuospatial working memory and academic performance in logical-mathematical reasoning applied to geometry will be carried out in two groups; subsequently, a visuospatial working memory training program will be applied to one of them; Finally, post-test measures will be carried out on both groups. It is expected that only the visuospatial working memory of the intervened group will improve and that this improvement will translate into a generic increase in academic performance in logical-mathematical reasoning applied to geometry in that group. This result would open the possibility of using visuospatial working memory training programs as a classroom educational resource, with the consequent effect of improving academic performance in logical-mathematical reasoning applied to students' geometry.

**Keywords:** Visuospatial working memory, academic performance, logical-mathematical reasoning, geometry, visuospatial working memory training program, 4th compulsory secondary education.

## Índice de contenidos

1. Introducción.....	9
1.1.    Justificación del tema elegido.....	9
1.2.    Problema y finalidad del trabajo.....	10
1.3.    Objetivos del TFE.....	11
2. Marco Teórico .....	11
2.1.    Memoria de trabajo visoespacial (MTVE).....	11
2.1.1.    Modelo de Baddeley y Hitch .....	11
2.1.2.    Modelo de continuidad de la memoria de trabajo .....	13
2.1.3.    Bases neurobiológicas de la memoria de trabajo visoespacial.....	16
2.2.    Rendimiento académico en el razonamiento lógico-matemático aplicado a la geometría en física.....	17
2.2.1.    Rendimiento académico.....	17
2.2.2.    Razonamiento lógico-matemático .....	18
2.2.3.    Geometría y Física .....	19
2.3.    Memoria de trabajo visoespacial y rendimiento académico en el razonamiento lógico-matemático aplicado a la geometría .....	19
3. Metodología .....	23
3.1.    Objetivos .....	23
3.2.    Hipótesis.....	24
3.3.    Población, muestra y muestreo .....	25
3.4.    Diseño .....	26
3.5.    Variables medidas e instrumentos aplicados .....	26
3.5.1.    Rendimiento académico en razonamiento lógico-matemático asociado a la geometría .....	26

Memoria de trabajo visoespacial, razonamiento lógico matemático y geometría: un punto de vista desde la Física para alumnado de 15 a 16 años	
3.5.1.1. Definición .....	26
3.5.1.2. Instrumento de evaluación .....	27
3.5.2. Memoria de Trabajo visoespacial (MTVE).....	27
3.5.2.1. Definición .....	27
3.5.2.2. Instrumentos de evaluación.....	27
3.5.3. Programa de intervención sobre la MTVE.....	28
3.5.3.1. Definición .....	28
3.6. Procedimiento y cronograma .....	29
3.7. Análisis de datos .....	30
3.8. Recursos humanos, materiales y económicos.....	31
4. Discusión y Conclusiones.....	32
4.1. Discusión .....	32
4.2. Conclusiones esperadas.....	36
4.3. Limitaciones esperadas.....	36
4.4. Prospectiva.....	38
Referencias bibliográficas.....	39
Anexo A. Competencias específicas, criterios de evaluación, saberes básicos y perfil de salida en la asignatura de Física y Química de 4º ESO. ....	46
Anexo B. Características de los modos visual y espacial de la memoria de trabajo.....	48
Anexo C. Imágenes PET de áreas cerebrales significativamente activas en tareas espaciales y visuales.....	49
Anexo D. Silogismos categóricos y la teoría de modelos mentales.....	50
Anexo E. Descripción pruebas de evaluación de la memoria visual y espacial. ....	51
Anexo F. Consentimiento informado para proyecto de investigación. ....	53
Anexo G. Declaración de consentimiento informado .....	56

Anexo H. Formulario de revocación de consentimiento informado .....58

## Índice de figuras

Figura 1. Modelo de memoria de trabajo en función de sus componentes y flujos de información.....	12
Figura 2. Representación gráfica de la memoria de trabajo según el modelo de continuidad de Cornoldi y Vecchi. ....	14

## Índice de tablas

Tabla 1. Ejemplos de operaciones de la MT en grado creciente de control/actividad.....	15
Tabla 2. Coordenadas estereográficas z, y áreas de Brodmann asociadas a zonas cerebrales que muestran activación significativa ante tareas espaciales y visuales. ....	16
Tabla 3. Temporalización de la implementación del estudio.....	30
Tabla 4. Recursos materiales y económicos necesarios para la realización del proyecto. ....	32

# 1. Introducción

## 1.1. Justificación del tema elegido

En la actualidad, las matemáticas son la base del crecimiento económico a través de la ciencia, la tecnología y la ingeniería, sosteniendo la Innovación y la comprensión del mundo y de la ciudadanía (Mahajan et al., 2016). El fortalecimiento de las disciplinas ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas (STEM), es fundamental para asegurar que las economías innovadoras aborden eficazmente los desafíos de carácter regional o global que se presenten (Organización para la Cooperación y el desarrollo económicos [OECD, 2014]).

En España, las áreas STEM son motores importantes para el crecimiento del producto interno bruto. Sin embargo, la adquisición de competencias STEM por parte del alumnado es insuficiente (Observatorio de las Ocupaciones, 2024). Los datos obtenidos en la evaluación del Programa para la Evaluación Internacional de los Estudiantes (PISA) 2022 indican que el 54% del alumnado español presenta un nivel de desempeño global en matemáticas igual o inferior a 2, en una escala de 6 niveles (Instituto nacional de evaluación estadística [INEE], 2023). Ese nivel de desempeño también se presenta en los contenidos espacio y forma, y razonamiento matemático.

En efecto, los docentes de Física y Química observan con frecuencia que las dificultades que el alumnado presenta en el aprendizaje de la asignatura están vinculadas al grado de adquisición y empleo de contenidos y habilidades matemáticas, y no solo a las propias de la materia. De especial interés es la presentación de esta circunstancia en el cuarto curso de la educación secundaria obligatoria (ESO), año de finalización de la educación obligatoria en el que el alumnado ha debido de adquirir un correcto nivel de desarrollo competencial que le capacite a seguir formándose o a insertarse en el mercado laboral.

El Real Decreto 217/2022, de 29 de marzo, por el que se establece la ordenación y las enseñanzas mínimas de la ESO, dispone un modelo curricular básico organizado en objetivos, competencias claves y específicas, criterios de evaluación, saberes básicos y métodos pedagógicos asociados a cada asignatura. El alumnado, una vez concluida la ESO ha de haber adquirido y desarrollado ocho competencias clave recogidas en el perfil de salida en forma de descriptores operativos.

Como se muestra en el Anexo A, para la competencia clave STEM, de la relación existente entre sus descriptores operativos, los criterios de evaluación de sus competencias específicas vinculadas y los saberes básicos asociados, se concluye que un adecuado empleo del álgebra vectorial y del razonamiento lógico-matemático, posibilita un correcto nivel de desempeño en esa competencia clave. Por tanto, geometría y razonamiento, como contenido y proceso matemáticos, capacitan al alumnado a insertarse exitosamente en el tejido laboral.

Por otra parte, existe evidencia experimental de que la memoria de trabajo visoespacial (MTVE) es predictora del rendimiento en geometría tanto en niños como en adultos (Giofrè et al., 2013; Kyttälä et al., 2008; Mammarella et al., 2012; Pérez et al., 2014; Rivella et al., 2021; Silverman et al., 2021), y de estar relacionada con las estrategias utilizadas por los sujetos en la construcción y validación de silogismos (Bacon et al., 2008; Tse, 2017).

El trabajo que se va a realizar está motivado por la necesidad de incrementar el rendimiento académico del alumnado de 4º ESO en la capacidad de razonamiento lógico-matemático en geometría entrenado desde la asignatura de Física y Química. Conocer si el nivel de desarrollo de la MTVE es causa del grado de desempeño de esa capacidad de razonamiento, permitiría valorar la aplicación de un programa de mejora de la MTVE en el aula, con el consecuente efecto en la capacidad de razonamiento lógico-matemática. A su vez, este trabajo abre una línea de investigación experimental sobre la interacción entre MTVE y capacidad de razonamiento lógico-matemático en geometría para la población de adolescentes de último curso de la ESO entrenados en habilidades STEM.

## 1.2. Problema y finalidad del trabajo

Con frecuencia, las dificultades del alumnado de 4º ESO en el aprendizaje de Física están vinculadas a una falta de desempeño en matemáticas: requiere de la aplicación de la capacidad de razonamiento lógico-matemático, del conocimiento previo de contenidos geométricos y de habilidades visoespaciales (Sevilla, 1994).

Como se ha indicado anteriormente, en niños y adultos la MTVE es predictora del rendimiento en geometría y podría estar vinculada con la estrategia empleada en la construcción y validación de silogismos. En consecuencia, se plantea la cuestión siguiente: ¿Afecta la MTVE al rendimiento académico asociado al razonamiento lógico-matemático aplicado a la Geometría en estudiantes de Física de 4º ESO? De existir ese efecto, y considerando que la

memoria de trabajo (MT) puede ser mejorada mediante la aplicación de programas de entrenamiento (Simons et al., 2016), dichos programas podrían emplearse como recurso educativo para incrementar la capacidad de razonamiento lógico-matemático en el ámbito de la geometría en esa población de estudio. En este trabajo se emplea el programa de entrenamiento Cogmed (CWMT, siglas en inglés de Cogmed Working Memory Training), como programa de mejora de la MTVE.

### 1.3. Objetivos del TFE

El objetivo general de este trabajo es diseñar un proyecto para analizar el efecto de la MTVE sobre el rendimiento académico asociado al razonamiento lógico-matemático aplicado a la geometría en estudiantes de Física de 4º ESO.

Los objetivos específicos son los siguientes:

1. Realizar una revisión bibliográfica sobre los modelos que definen la MTVE, el rendimiento académico, el razonamiento lógico-matemático y el estado actual de la relación entre la MTVE y el razonamiento lógico-matemático aplicado a la geometría, en estudiantes de Física de 4º ESO.
2. Diseñar una metodología adecuada y reproducible que permita analizar el efecto de la MTVE sobre el rendimiento académico asociado al razonamiento lógico-matemático aplicado a la geometría en estudiantes de Física de 4º ESO.
3. Discutir acerca de los posibles resultados obtenidos tras la aplicación de la metodología establecida para alcanzar unas conclusiones sólidas respecto al objeto de estudio.
4. Definir posibles futuras líneas de investigación basadas en las conclusiones del estudio que puedan tener aplicación en el área educativa.

## 2. Marco Teórico

### 2.1. Memoria de trabajo visoespacial (MTVE)

#### 2.1.1. Modelo de Baddeley y Hitch

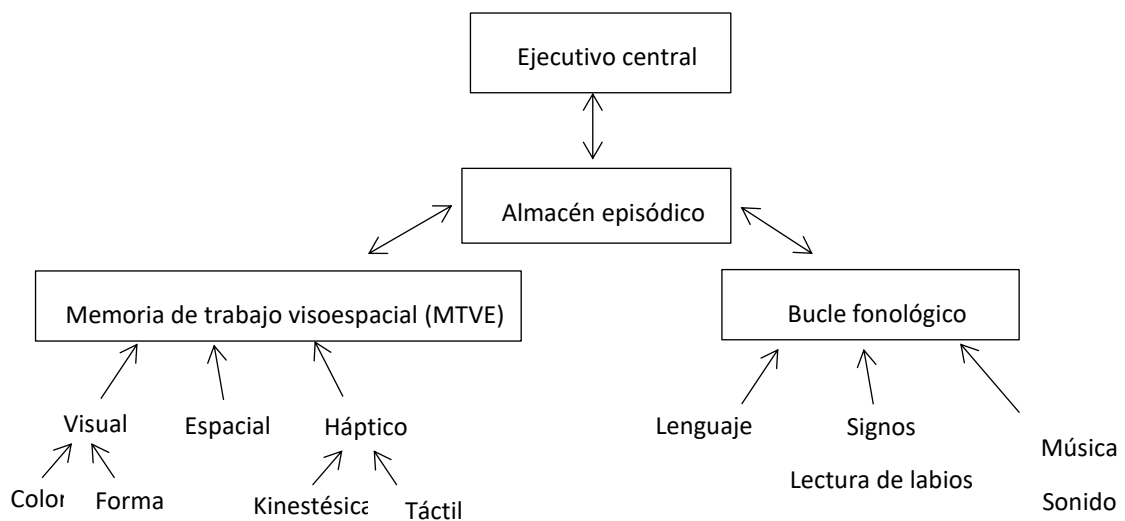
Basado en la teoría propuesta por Atkinson y Shiffrin en 1968, Baddeley y Hitch propusieron un modelo multicomponente de la MT constituido por tres módulos: bucle fonológico, con

funciones de almacenamiento verbal-acústico; almacén visual, con funciones de almacenamiento y manipulación visoespacial, y el ejecutivo central, con funciones de control atencional del sistema con capacidad limitada (Baddeley, 2003).

En su versión actual, la MT se concibe como un espacio de trabajo mental unitario de carácter atencional (Baddeley et al., 2019), que actúa como interfaz entre la cognición y la acción, y es capaz de manejar diferentes modalidades de información y etapas de procesamiento (Baddeley, 2012). Constituida por 4 componentes (Baddeley, 2012; Baddeley et al., 2019), tiene el cometido de almacenar temporalmente y manipular información necesaria para la ejecución de actividades cognitivas complejas, dando sustento a la capacidad de pensamiento (Baddeley, 2003). En la Figura 1 se muestran los componentes que conforman el modelo actual de la memoria de trabajo de Baddeley con sus flujos de información.

**Figura 1**

*Modelo de memoria de trabajo en función de sus componentes y flujos de información.*



Fuente: Figura adaptada de Baddeley, (2012).

La información con la que trabaja se mantiene activa en tanto la atención está focalizada en ella, disminuyendo rápidamente si aparece información diferente sobre la que la atención se centre (Manzanero et al., 2015).

Respecto al componente MTVE, está constituido por dos subcomponentes, memoria de trabajo visual (MTV) y memoria de trabajo espacial (MTE), (Baddeley, 2012), y se especula un subcomponente háptico (Baddeley, 2003). Integra en una representación unificada la

Memoria de trabajo visoespacial, razonamiento lógico matemático y geometría: un punto de vista desde la Física para alumnado de 15 a 16 años  
información visual, espacial y cinestésica recibida, pudiendo almacenar y manipular temporalmente dicha representación (Baddeley, 2003).

### 2.1.2. Modelo de continuidad de la memoria de trabajo

El modelo multicomponente de Baddeley resultaba insuficiente para justificar los datos experimentales obtenidos en estudios realizados sobre grupos específicos de población atendiendo a sus diferencias individuales (Borella et al., 2020). Para dar respuesta a esta situación Cornoldi et al., (2004) propusieron su modelo de MT denominado modelo de continuidad.

En él, la actividad de la memoria se describe en función de un doble registro: el tipo de información a tratar y el grado de control, actividad y recursos necesarios para operar sobre dicha información. Esta doble dimensión se explica gráficamente en la Figura 2 a través de la representación en un plano de las tareas a desarrollar por esta memoria. El eje vertical, de carácter continuo, da cuenta del grado de control, actividad y recursos necesarios asociados a la tarea a realizar; el eje horizontal, de carácter discreto, discrimina el tipo de información a gestionar (verbal, visual, espacial y/o háptica).

El carácter continuo del modelo conlleva que las tareas no sean completamente separables en el eje horizontal, si bien su diferenciación aumenta con la distancia entre los puntos del plano que las representan. A este respecto, el modelo además de diferenciar en el continuo entre operaciones visoespaciales y verbales también distingue las operaciones visuales de las espaciales, y en estas últimas, las espaciales simultáneas de las espaciales secuenciales. Por otra parte, las tareas distantes que comparten la misma dirección horizontal o vertical puedan compartir propiedades y principios funcionales<sup>1,2</sup>.

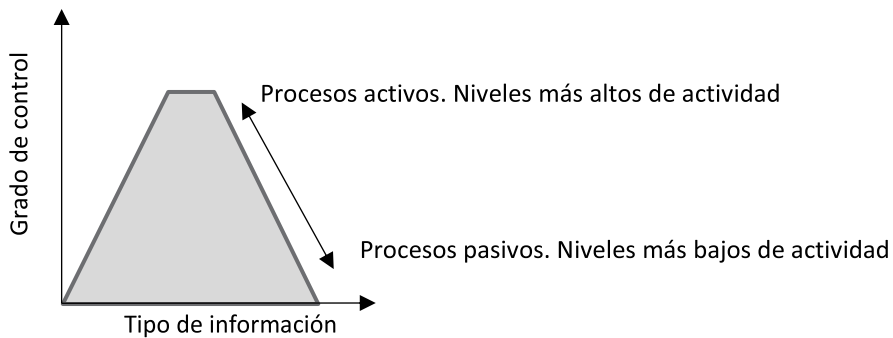
---

<sup>1</sup> Por ejemplo, fijada una coordenada del eje horizontal asociada a procesos espaciales simultáneos, los puntos del plano resultantes al modificar la coordenada vertical comparten propiedades relacionadas con esta espacialidad simultánea (Cornoldi et al., 2004).

<sup>2</sup> Fijada una coordenada en el eje horizontal, como, por ejemplo, la tarea de memoria de trabajo verbal (de nivel muy bajo), los efectos que podrían encontrarse tienen un análogo en el procesamiento visoespacial (disminución de memoria ocasionada por falta de atención al habla y efectos del ruido y similitud visuales, respectivamente) (Cornoldi et al., 2004).

**Figura 2**

*Representación gráfica de la MT según el modelo de continuidad de Cornoldi y Vecchi.*



Fuente: Adaptado de Cornoldi et al., (2004).

En cuanto a los recursos cognitivos de la MT, son limitados y definen la capacidad del sistema, de modo que la realización de una tarea es posible si dichos recursos son suficientes para ejecutarla. Estos recursos son compartidos por los diferentes subsistemas, por lo que cada punto del plano tiene una cantidad local específica, estando su distribución determinada por las características propias de cada individuo. Así, es posible distinguir entre recursos locales y globales particulares de cada sujeto.

La posibilidad de que dos tareas se realicen conjuntamente está condicionada al tipo de tarea y a la distancia existente entre ambas en el plano: así, para ejecutar simultáneamente las tareas A y B es necesario que la cantidad de recursos cognitivos movilizados, a la que denominaremos  $n$ , sea inferior a la cantidad global de recursos de la memoria de trabajo, a la que denominaremos  $N$ . Este postulado se expresa matemáticamente de la forma siguiente:

$$N = n_A + n_B d + n_t \quad (\text{Ec. 1}) \quad \text{con} \quad N \geq n \quad (\text{Ec. 2})$$

Donde:

$n_A$ , es la cantidad de recursos específicos a movilizar para desarrollar la tarea A.

$n_B d$ , es la cantidad de recursos específicos a movilizar para desarrollar la tarea B teniendo en cuenta su distancia,  $d$ , a la tarea A en el plano.

$n_t$ , es la cantidad de recursos adicionales necesarios a movilizar para realizar dos tareas conjuntas.

Para cada individuo, dos tareas cognitivas A y B podrían realizarse conjuntamente si son de baja actividad, al requerir ambas una baja cantidad de recursos y ser la suma de los dos primeros términos de la ecuación 1 limitada, aun teniendo en cuenta a  $n_t$ . Esto no sería cierto en el caso de tareas activas, o tareas pasivas/activas en las que se podrían mostrar efectos de interferencia. El enfoque de diferencias individuales conlleva, además, que la demanda de recursos para ejecutar una tarea determinada disminuya con la práctica continuada de la misma y el tipo de estrategia aplicada.

Por otro lado, el nivel de control activo requerido para una determinada operación cognitiva depende de la naturaleza de la información a gestionar, las características de las tareas a realizar y del grado de integración de estas, por ejemplo, en una tarea de comprensión lectora, se han de integrar aspectos verbales y visoespaciales de diferentes niveles de control atencional (Cornoldi et al., 2004). Por tanto, una operación cognitiva es una combinación específica de activación de modalidades de información y actividades de control activas y pasivas, “la memoria de trabajo es un sistema unitario y se implica como un todo” (p. 127). Los mínimos de actividad controlada están asociados a procesos de almacenamiento de la información, mientras que los máximos lo están a tareas que requieren manipulación y transformación de esa información como sucede en las tareas de rotación o síntesis mental. Como sucede con la demanda de recursos cognitivos, el nivel de control activo solicitado para realizar una operación cognitiva determinada puede disminuir con la experiencia y automatización en la ejecución de esa tarea. Un ejemplo de clasificación de operaciones atendiendo al nivel de control/actividad requerida se muestra en la Tabla 1.

**Tabla 1**

*Ejemplos de operaciones de la MT en grado creciente de control/actividad*

Nivel de control/actividad	Operación de la MT
Muy bajo	Almacenamiento y mantenimiento de la información
Bajo	Mantenimiento información/Mecanismo de ensayo
Medio	Generación de imágenes simples
Alto	Transformación de huellas visuales o imágenes mentales
Muy alto	Organización/reinterpretación de imágenes mentales

Fuente: Adaptado de Cornoldi et al., (2004).

La correcta ubicación en el plano de las diferentes tareas cognitivas, requiere de una identificación de las habilidades asociadas a la MT, así como de la diferenciación de la modalidad de la información recibida. En el Anexo B se muestran las diferencias fundamentales entre los modos visual y espacial de información de la MT.

Este modelo entiende la MTVE como una capacidad operativa de la MT diferenciada internamente según la naturaleza visual o espacial de la información que gestiona y el grado de control requerido en la ejecución de tareas. El CWMT planteado en este estudio trabaja la MTVE así propuesta, al entrenar la MT, la atención y el control de impulsividad.

### 2.1.3. Bases neurobiológicas de la memoria de trabajo visoespacial

Portellano (2005) localiza la MTVE en las áreas parieto-occipitales del hemisferio derecho cerebral. Manzanero et al., (2015) aumentan el detalle de esta localización, ubicando la retención de características espaciales de los estímulos en la región occipitoparietal, y ampliando la localización de la MTVE a las zonas prefrontales del hemisferio derecho. Por otra parte, Smith et al., (1995) reportan que la acción de la MTE y MTV provoca la activación intensa de las áreas que se indican en la Tabla 2 y se muestran en el Anexo C.

**Tabla 2**

*Coordenadas estereográficas z, y áreas de Brodmann asociadas a zonas cerebrales que muestran activación significativa ante tareas espaciales y visuales.*

Tarea	Coordenada estereográfica (z)	Área cerebral
Espacial	-2	Derecha 47 (Córtex prefrontal dorsolateral inferior)
	29	Derecha 19 (Córtex occipital)
	38	Derecha 40 (Córtex posteroparietal)
	45	Derecha 6 (Córtex premotor)
Visual	-11	Izquierda 37 (Córtex inferotemporal)
	34	Izquierda 40 (Córtex posterotemporal)
	43	Izquierda (Cingulado anterior)

Fuente: Adaptado de Smith et al., (1995).

## 2.2. Rendimiento académico en el razonamiento lógico-matemático aplicado a la geometría en física

### 2.2.1. Rendimiento académico

La literatura científica ofrece diversas definiciones sobre el término rendimiento académico. Para Luengo (2015) es el grado de conocimiento, destrezas y competencias demostrado por el alumnado operativizado en las calificaciones obtenidas de sus profesores; Cardona et al., (2016) lo refieren como “la valoración cuantitativa y cualitativa del logro de competencia alcanzado en el proceso de enseñanza-aprendizaje, dentro de un contexto de desempeño específico” (p.428); Bestué (2022) lo define como “el grado de consecución de objetivos académicos a través del desarrollo de habilidades y competencias en un entorno educativo” (p.34). Se observa que los términos comunes para todas las definiciones dadas son logro y competencia; en el apartado 3.5 se hará uso de esta consideración.

En los centros de titularidad española, el rendimiento académico se vincula al logro de objetivos y alcance adecuado del grado de adquisición de las competencias propias de cada materia (Ley Orgánica 3/2020 por la que se modifica la Ley Orgánica 27/2006 de 3 de mayo de educación, 2020, art. 36). La comunidad autónoma de Cantabria, a través de la Orden EDU/3/2023 por la que se regula la evaluación en la etapa de Educación Infantil, la evaluación y la promoción en la etapa de Educación Primaria, la evaluación, la promoción y la titulación en las etapas de Educación Secundaria Obligatoria y de Bachillerato y determinados aspectos relacionados con la evaluación y titulación en Formación Profesional, regula el procedimiento de valoración del rendimiento académico mediante los criterios de evaluación establecidos en la programación didáctica del profesor de la materia; el establecimiento de procedimientos, actividades e instrumentos de evaluación coherentes con esos criterios de evaluación; la observación directa y sistemática, y el seguimiento individualizado del alumnado.

Todo ello se realiza de tal forma que la valoración obtenida del rendimiento del alumno sea objetiva. Dicho rendimiento se expresa para cada asignatura en la evaluación final de curso a través de valoraciones semicuantitativas: «Insuficiente» para calificaciones negativas y «Suficiente», «Bien», «Notable» y «Sobresaliente» para calificaciones positivas.

### 2.2.2. Razonamiento lógico-matemático

De acuerdo con Deaño (2009) razonar es un modo de pensar caracterizado por la consecución de una afirmación partiendo de otras. Por tanto, un razonamiento, en cuanto consecuencia del acto de razonar, está constituido por el conjunto de afirmaciones iniciales y finales y la relación existente entre ellas. El estudio de la justificación y crítica de un argumento válido es realizado por la Lógica Formal (Castrillo et al., 2008). En su versión moderna, debido a la influencia ejercida por los matemáticos en su nacimiento, es denominada Lógica Matemática (Mora et al., 2019). El razonamiento lógico-matemático es entonces la consecuencia del acto de razonar aplicando la Lógica Matemática<sup>3</sup>.

Desde el formalismo de la Lógica, las afirmaciones constructoras del razonamiento se denominan proposiciones; así, un argumento es un conjunto de proposiciones en el que la verdad de una de ellas, llamada conclusión, se pretende fundamentar en la verdad de las otras, llamadas premisas. Los argumentos pueden ser válidos o inválidos. Un argumento válido, necesariamente traslada la verdad de las premisas a la verdad de la conclusión, por lo que la validez de un argumento elimina la posibilidad de que siendo verdaderas las premisas, la conclusión sea falsa. De modo análogo, un argumento es inválido cuando siendo sus premisas verdaderas, la conclusión es falsa (Castrillo et al., 2008).

Como indica Deaño (2009), lo esencial en todo argumento válido es la relación de necesidad existente entre premisas y conclusión, de tal forma que, siendo las premisas verdaderas, sea imposible la falsedad de la conclusión. Sin embargo, no sucede siempre así. Existen razonamientos formalmente válidos en los que de la verdad de las premisas no se conduce inevitablemente a la verdad de la conclusión, sino sólo a una mayor o menor probabilidad. A los primeros se les denomina argumentos deductivos y a los segundos, argumentos inductivos. Siguiendo a Castrillo et al., (2008), existen argumentos deductivos cuya validez depende de las partículas que conectan las proposiciones: expresiones como “si”, “no”, “entonces”, “y,” “o”, “si” y “y solo si”, reciben el nombre de constantes lógicas. La parte de la Lógica (deductiva)

---

<sup>3</sup>Razonar y argumentar, razonamiento y argumento serán tratados como sinónimos respectivamente.

que estudia la validez de estos argumentos se denomina *lógica de enunciados*<sup>4</sup>. Conforme a Diez et al., (2008), un argumento inductivo será más fuerte que otro en función de que la verdad de sus premisas apoye en mayor grado la probabilidad de la conclusión. Esto supone la creación de sistemas lógicos complejos cuya estructuración considera el número de casos particulares que dan lugar a una afirmación general, la calidad de estos y las causas involucradas como nexo entre ellos.

A modo de resumen, el razonamiento lógico-matemático es un argumento construido con proposiciones denominadas premisas y conclusión en el que, de ser verdadero, de la verdad de las premisas se sigue la verdad de la conclusión de forma absoluta (razonamiento deductivo) o con un cierto grado de probabilidad (razonamiento inductivo).

### 2.2.3. Geometría y Física

De acuerdo con Ortega (2006), el fenómeno físico más elemental y natural es el movimiento. La rama de la Física que se ocupa de su estudio es la Mecánica, a través del examen de las causas que lo producen y del estudio de la manera adecuada de describirlo. Estudiar el movimiento de un cuerpo significa determinar su posición en el espacio en función del tiempo. Para ello se necesita un sistema de referencia respecto del cual especificar dicha posición y sus modificaciones temporales. A partir de él, se construyen los elementos descriptores del movimiento del objeto aplicando geometría analítica a un espacio de métrica euclídea (García, 2002).

## 2.3. Memoria de trabajo visoespacial y rendimiento académico en el razonamiento lógico-matemático aplicado a la geometría

De acuerdo con González (2019a), los resultados experimentales obtenidos en la evaluación de tareas de razonamiento deductivo han mostrado la existencia de errores y sesgos sistemáticos. Los errores se clasifican en formales e informales según violen o no alguna de las reglas inferenciales. Un ejemplo de error informal es rechazar un argumento válido por no estar de acuerdo con el contenido de la conclusión. Los sesgos son tendencias sistemáticas en

---

<sup>4</sup>En este trabajo son saberes básicos de enseñanza-aprendizaje, los argumentos basados en las tablas de verdad asociadas a las constantes lógicas, la estrategia deductiva de reducción al absurdo y las reglas *modus tollens*, *modus ponens* y contraejemplos.

el proceso de razonamiento en las que el sujeto considera factores irrelevantes para el proceso argumental.

No existe una postura teórica única que explique el razonamiento y la fenomenología de los errores y sesgos. En este trabajo se expone brevemente el modelo semántico.

Este enfoque se fundamenta en una representación semántica de las premisas y un procedimiento de comprobación semántica del argumento, rechazando las reglas de inferencia formales. Una de las teorías pertenecientes a este enfoque más utilizada en el trabajo experimental es el modelo mental de razonamiento (Johnson-Laird, 1983; Johnson-Laird et al., 1991, como se cita en Duyck et al., 2003). En este modelo el sujeto razonador construye la inferencia en tres etapas: interpretación de las premisas y construcción del modelo inicial que representa dichas premisas; inferencia de una conclusión a partir de dicho modelo inicial y búsqueda de contraejemplos en el establecimiento de posibles conclusiones a modo de validación. La validez de un argumento viene determinada por la inexistencia de esos contraejemplos.

Conforme a González (2019b), este modelo propone como causas de las resoluciones erróneas de silogismos categóricos<sup>5</sup> y transitivos<sup>6</sup>, al número de modelos mentales generados para resolverlos, así como a la ubicación espacial de las estructuras silogísticas que los conforman. En el Anexo D se muestran las cuatro estructuras del silogismo categórico según la Teoría de modelos mentales ordenados por nivel de dificultad decreciente.

Bacon et al., (2003) investigaron el tipo de estrategias principales de razonamiento desarrolladas por estudiantes de grado en la resolución de silogismos. Se hallaron principalmente dos tipos de estrategias: la estrategia verbal, en la que los sujetos razonadores referían acciones como reemplazar, sustituir, y cancelar términos silogísticos, y la estrategia espacial, en la que se describían los términos y sus interrelaciones como grupos o subconjuntos similares a los círculos de Euler-Venn.

---

<sup>5</sup> Un silogismo categórico está constituido por dos premisas (mayor y menor) y una conclusión en la que se establece una nueva conexión. La Premisa mayor contiene el predicado de la conclusión y la premisa menor contiene el sujeto de la conclusión.

<sup>6</sup> Un silogismo transitivo está constituido por dos premisas y una conclusión. En las premisas se ordenan o comparan tres términos con relación a una propiedad determinada; en la conclusión se establece la relación entre los términos más distantes.

Por otro lado, Duyck et al., (2003) investigaron el papel de la MTVE en el razonamiento condicional con contenido espacial y no espacial en condiciones de una sola tarea (tarea de control) o simultáneas cargando la MTVE en adultos jóvenes. Se realizaron 16 tareas con 4 tipos de problemas condicionales: modus ponens, modus tollens, negación del antecedente y afirmación de la consecuencia. Se utilizó una tarea de tapping matricial para cargar la MTVE. Hallaron que esta carga ralentizaba el tiempo de procesamiento de la primera premisa cuando el contenido era espacial, pero no cuando no lo era. La segunda premisa no se veía afectada por el tipo de contenido. Esto sugería que el modelo interno inicial que se construye es de naturaleza espacial y que el efecto de la combinación de tarea dual y contenido espacial se manifiesta sólo al principio del procesamiento.

Bacon et al., (2008) examinaron la relación entre el uso de la MTVE y la MT verbal y la selección de la estrategia seguida por adultos jóvenes en el razonamiento silogístico. Hallaron que mientras que los razonadores verbales utilizaban principalmente la MT verbal, los razonadores espaciales usaban ambas.

Por otro lado, Tse (2017) investigó el efecto de las diferencias individuales en el razonamiento deductivo en preadolescentes de 1º ESO y 2º ESO, concretamente, la MTVE y la inteligencia fluida. Los estudiantes fueron evaluados a través de varias tareas de razonamiento: modus tollens, negación del antecedente y disyunción inclusiva; resolución de una tabla de verdad y tres tareas de construcción silogística de dificultad creciente; una tarea de silogismo categórico y una tarea de razonamiento probabilístico. Los resultados obtenidos sugirieron que la MTVE es predictora significativa del desempeño en razonamiento en los estudiantes de 2º ESO, pero no en los de 1º ESO, donde lo es la inteligencia fluida, aunque exista correlación entre ambas variables. La inteligencia fluida refleja las habilidades de razonamiento operando a través de una diversidad de dominios nuevos (Stanovich, 2009) según el modelo de inteligencia de Cattell, Horn y Carroll (Carroll, 1993; Cattell, 1971; Horn, 1968).

Tse (2017) investigó en adultos el papel de la MT y el número de modelos mentales creados en las fases de generación de conclusiones y evaluación de silogismos. Los resultados obtenidos sugirieron que la MTVE afecta especialmente a los silogismos en los que el orden de los términos finales que lo componen determina la validez de estos.

Desde el enfoque de diferencias individuales, Bacon et al., (2009) desarrollaron una investigación con adultos disléxicos y no disléxicos, en la que se evaluó el tipo de estrategia seguida por los participantes en la resolución de silogismos transitivos. Encontraron que los razonadores disléxicos utilizaron información visual adicional para clarificar el significado del silogismo planteado y poder comparar sus términos. Esta acción se justificó mediante la acción de la MTV que posibilita el mantenimiento temporal de los términos a relacionar en la resolución del silogismo. Por otro lado, se encontró que las presentaciones visualmente ricas de los silogismos comprometían la capacidad de razonamiento de los participantes disléxicos; este hecho se explicó en base a una sobrecarga de la MTV al sumar la gestión de esos estímulos visuales extra, a su participación en la estrategia visual seguida por el sujeto en la resolución del silogismo.

En cuanto al estudio conjunto de la MTVE y las matemáticas, los resultados experimentales que correlacionan estas variables son numerosos y están focalizados en el logro de las competencias tempranas. Dichos resultados sugieren que las contribuciones individuales de los componentes espacial y visual de la MT son identificables (Fanari et al., 2019; Macchitella et al., 2023); las diferentes habilidades matemáticas se relacionan de forma desigual con los procesos de la MTVE (De Vita et al., 2021; Macchitella et al., 2023) y sus componentes espaciales y visuales (Macchitella et al., 2023); los procesos activos de la MTVE comienzan a influir en el rendimiento matemático de los niños desde el inicio de su aprendizaje formal (De Vita et al., 2021), adquiriendo mayor influencia con la edad (De Vita et al., 2021; Fanari et al., 2019; Macchitella et al., 2023). En la franja etaria de estudio, existe evidencia de que los procesos activos y pasivos de la MTVE correlacionan de forma diferente con distintas habilidades matemáticas (Kyttälä et al., 2008).

Respecto al estudio conjunto de la MTVE y la geometría, la evidencia experimental sugiere que la MTVE está involucrada en tareas de geometría intuitiva<sup>7</sup> (Mammarella et al., 2012), y en el aprendizaje de la geometría a través de resolución de problemas en niños, especialmente la MTE tanto activa como pasiva (Rivella et al., 2021).

---

<sup>7</sup> El término hace referencia a la competencia espacial desarrollada por los individuos en su interacción con el medio en ausencia de enseñanza formal (Wynn, 1989, como aparece en Pérez et al., 2014)

Durante la adolescencia, Kyttälä et al., (2008) evidenciaron que la MTVE activa es un predictor significativo del logro en geometría en estudiantes de 15 y 16 años, y que dicho efecto está mediado por la inteligencia fluida no verbal, referida al modelo de inteligencia de Cattell y Horn (Cattell, 1971; Horn, 1968); Cohen et al., (2023), reportaron un grado de contribución variable de la MTVE frente al sistema ejecutivo central, en tareas de resolución de problemas de geometría analítica en estudiantes de 16 años, incrementándose la contribución de la MTVE con la dificultad de la tarea a realizar; para edades comprendidas entre 17 y 18 años, Giofrè et al., (2013), evidenciaron que la MTV activa está relacionada con el rendimiento académico en geometría en tareas complejas (de alto control), no mostrando relación alguna con tareas simples asociadas a la geometría intuitiva.

En la edad adulta, las categorías geométricas demandantes de procesos complejos necesitan de la MTV y MTE de alto control (Pérez et al., 2014); Silverman et al., (2021) hallaron que la MTE de alto control es un predictor del logro geométrico a través de tareas que impliquen manipulación mental de ubicaciones espaciales.

### 3. Metodología

#### 3.1. Objetivos

El objetivo general de este estudio es analizar el efecto de la MTVE sobre el rendimiento académico en el razonamiento lógico-matemático aplicado a la geometría en estudiantes de Física de 4º ESO.

A partir de este objetivo general se plantean los siguientes objetivos específicos:

1. Establecer si existen diferencias en la MTVE entre dos grupos de estudiantes de Física de 4º ESO, antes de aplicar un programa de intervención sobre la MTVE en uno de ellos.
2. Establecer si existen diferencias en el rendimiento académico en el razonamiento lógico-matemático aplicado a la geometría entre dos grupos de estudiantes de Física de 4º ESO, antes de aplicar un programa de intervención sobre la MTVE en uno de ellos.
3. Establecer si existen diferencias en la MTVE entre dos grupos de estudiantes de Física de 4º ESO, después de aplicar un programa de intervención sobre la MTVE en uno de ellos.

4. Establecer si existen diferencias en el rendimiento académico en el razonamiento lógico-matemático aplicado a la geometría entre dos grupos de estudiantes de Física de 4º ESO, después de aplicar un programa de intervención sobre la MTVE en uno de ellos.

### 3.2. Hipótesis

Las hipótesis de investigación y estadísticas asociadas a los objetivos específicos indicados anteriormente son las siguientes:

**Hipótesis 1:** Se espera hallar que no existen diferencias en la MTVE entre dos grupos de estudiantes de Física de 4º ESO, antes de aplicar un programa de intervención en la MTVE en uno de ellos.

H<sub>0</sub>: Se espera encontrar que no existen diferencias en la MTVE entre el grupo que será intervenido y el no intervenido.

H<sub>1</sub>: Se espera encontrar que existen diferencias en la MTVE entre el grupo que será intervenido y el no intervenido.

**Hipótesis 2:** Se espera hallar que no existen diferencias en el rendimiento académico en el razonamiento lógico-matemático aplicado a la geometría entre dos grupos de estudiantes de Física de 4º ESO, antes de aplicar un programa de intervención en la MTVE en uno de ellos.

H<sub>0</sub>: Se espera encontrar que no existen diferencias en el rendimiento académico en el razonamiento lógico-matemático aplicado a la geometría entre el grupo que será intervenido y el no intervenido.

H<sub>1</sub>: Se espera encontrar que existen diferencias en el rendimiento académico en el razonamiento lógico-matemático aplicado a la geometría entre el grupo que será intervenido y el no intervenido.

**Hipótesis 3:** Se espera hallar una diferencia significativa en la MTVE entre el alumnado de Física de 4º ESO sobre el que se ha aplicado un programa de intervención en la MTVE y el alumnado no intervenido, obteniendo puntajes más altos en el grupo intervenido.

H<sub>0</sub>: Se espera encontrar que no existen diferencias en la MTVE entre el grupo que ha sido intervenido y el no intervenido.

H<sub>1</sub>: Se espera encontrar que existen diferencias en la MTVE entre el grupo que ha sido intervenido y el no intervenido.

**Hipótesis 4:** Se espera hallar una diferencia significativa en el rendimiento académico en el razonamiento lógico-matemático aplicado a la geometría entre el alumnado de Física de 4º ESO sobre el que se ha aplicado un programa de intervención en la MTVE y el alumnado no intervenido, obteniendo puntajes más altos en el grupo intervenido.

H<sub>0</sub>: Se espera encontrar que no existen diferencias en el rendimiento académico en el razonamiento lógico-matemático aplicado a la geometría entre el grupo que ha sido intervenido y el no intervenido.

H<sub>1</sub>: Se espera encontrar que existen diferencias en el rendimiento académico en el razonamiento lógico-matemático aplicado a la geometría entre el grupo que ha sido intervenido y el no intervenido.

### 3.3. Población, muestra y muestreo

La población del estudio está constituida por estudiantes de Física de 4º ESO de la comunidad autónoma de Cantabria. La muestra es seleccionada aplicando un muestreo no probabilístico intencional, y estará conformada por un total de 60 estudiantes de edades comprendidas entre 15 y 16 años, que están cursando la asignatura de Física y Química de 4º ESO en un Instituto de Enseñanza Secundaria (IES) público de titularidad española. El IES está situado en una zona cabeza de comarca, de nivel socioeconómico medio, que recibe alumnado de diferentes localidades.

Los grupos que conformarán la muestra están constituidos por 30 alumnos cada uno, coincidentes con los grupos-clase establecidos por el centro a inicio de curso en la asignatura de Física y Química.

Los criterios de exclusión de la muestra son los siguientes:

1. No contar con el consentimiento informado escrito de los padres/tutores para participar en el estudio.
2. No contar con el consentimiento del estudiante.
3. Estar afectado de alguna enfermedad o dolencia que pueda afectar la realización de tareas on line o escritas.

4. Recibir clases de apoyo en las materias de Matemáticas y/o Física y Química.

### 3.4. Diseño

El enfoque de la investigación es cuantitativo y su diseño cuasiexperimental, ya que, si bien las variables de estudio independientes serán manipuladas, no será posible asignar los sujetos a los grupos de forma aleatoria. Este diseño se concretará con medidas pre y postratamiento con grupo control no equivalente. El tratamiento será la aplicación de CWMT sobre el grupo experimental; el grupo sobre el que no se va a intervenir, será el grupo de control.

Antes de aplicar la intervención, se realizarán medidas de la MTVE y del rendimiento académico en el razonamiento lógico-matemático aplicado a la geometría del alumnado, tanto en el grupo de control como en el experimental y su posterior análisis (medidas pretest); para ello, se llevarán a cabo las evaluaciones neuropsicológicas de la variable MTVE y se solicitará al profesorado de Física y Química las calificaciones de la asignatura en el criterio de evaluación 2.2 (Anexo A) aplicado al saber básico “La interacción”. Se tratará de mantener las mismas condiciones de ejecución para todos los participantes, minimizando los factores que pudieran influir en los resultados.

Posteriormente se intervendrá en el grupo experimental y no en el grupo de control durante 25 sesiones de 30 minutos, 3 veces a la semana en jornada de tarde, en el centro educativo y bajo la supervisión de la investigadora y la psicóloga acompañante, que habrá recibido la capacitación necesaria para dirigir y supervisar la aplicación del CWMT. Finalizada la intervención se volverán a realizar medidas de la MTVE y del rendimiento académico en el razonamiento lógico-matemático aplicado a la geometría en ambos grupos y su posterior análisis (medidas post-test).

### 3.5. Variables medidas e instrumentos aplicados

#### 3.5.1. Rendimiento académico en razonamiento lógico-matemático asociado a la geometría

##### 3.5.1.1. Definición

Es una variable educativa, al estar referida a un proceso de enseñanza-aprendizaje desarrollado en un contexto formal; dependiente, puesto que no será manipulada por la investigadora y sobre ella se observará el efecto de la manipulación de la variable independiente; cuantitativa, al expresarse su medida a través de una representación

numérica; se define como la valoración del grado de competencia desarrollado por el alumnado, tras un proceso de enseñanza-aprendizaje, medido sobre la capacidad de construir y validar argumentos deductivos relativos al movimiento de los objetos en un espacio euclídeo<sup>8</sup>.

#### 3.5.1.2. Instrumento de evaluación

Es la calificación numérica otorgada por el profesor de la materia a partir de los instrumentos de evaluación recogidos en la programación didáctica del departamento de Física y Química para 4º ESO. Se espera que su valor esté comprendido entre 0 y 10.

### 3.5.2. Memoria de Trabajo visoespacial (MTVE)

#### 3.5.2.1. Definición

Es una variable neuropsicológica, puesto que su estudio se realiza desde la Psicología apoyada por técnicas de neuroimagen; independiente, ya que será manipulada intencionalmente por la investigadora y observado su posible efecto en la variable dependiente; cuantitativa, al expresarse su medida a través de una representación numérica; se define como la capacidad de la MT de almacenar y manipular información visual, espacial secuencial y espacial simultánea atendiendo al grado de control (pasivo y/o activo) requerido para la realización de tareas.

#### 3.5.2.2. Instrumentos de evaluación

Son 5 tareas extraídas de la Batería para la valoración de la memoria visual y espacial o BVS-Corsi (Mammarella et al., 2008, como se cita en Pérez et al., 2014) y 1 tarea creada por Miyake et al., (2000, como se cita en Pérez et al., 2014). Las pruebas serán administradas mediante ordenador (Power Point). Cada prueba consta de varios niveles estructurados en tres tareas y secuenciados por orden creciente de dificultad. Se comienza por el nivel más sencillo y el participante va subiendo de nivel si es capaz de resolver correctamente al menos dos de las tres tareas de ese nivel. La puntuación se obtiene asignando a cada tarea un puntaje de valor numérico igual al del nivel al que pertenece. La puntuación total se consigue sumando los

---

<sup>8</sup> De conformidad con el criterio de evaluación 2.2 de la competencia específica 2 aplicado a los saberes básicos de los bloques “Las destrezas científicas básicas” y “La Interacción” de la asignatura de Física y Química de 4º ESO (Anexo A).

puntajes de las tareas correctamente realizadas de los tres últimos niveles alcanzados. Con la finalidad de familiarizarse con la tarea y antes de su comienzo, los participantes realizarán dos ensayos, recibiendo retroalimentación de su ejecución por parte de la psicóloga acompañante.

Las seis pruebas para realizar son:

1. Matriz simultánea de puntos: Valora la memoria espacial-simultánea/pasiva.
2. Matriz de puntos: Valora la memoria espacial-secuencial/activa.
3. Figuras sin sentido: Valora la memoria visual/pasiva.
4. Patrón visual activo: Valora la memoria espacial-simultánea/activa.
5. Matriz secuencial de puntos: Valora la memoria espacial-secuencial/pasiva.
6. Puzzle: Valora la memoria visual/activa.

En el Anexo E se muestra una descripción de estas pruebas.

### 3.5.3. Programa de intervención sobre la MTVE.

#### 3.5.3.1. Definición

Es una variable educativa, ya que el objetivo de su aplicación es favorecer el proceso de enseñanza y aprendizaje del alumnado sobre el que se aplica; independiente, puesto que será manipulada intencionalmente por la investigadora y observado su posible efecto en la variable dependiente; cualitativa, al expresarse su medida a través de una categoría sin propiedades numéricas; dicotómica, al manipularse en dos modos, presencia del programa de intervención (en el grupo experimental, donde se aplica el programa) y ausencia del programa de intervención (en el grupo control, donde no se aplica el programa).

En la intervención sobre el grupo experimental se empleará CWMT en su versión RM aplicable a edades comprendidas entre 8 y 17 años. Este programa se presenta como una aplicación online adaptable al usuario en función de su desempeño, que integra tecnología de videojuegos y ciencia cognitiva. El alumnado participante entrenará su MTVE a través de un conjunto de juegos de nivel de complejidad creciente, que requieren el almacenamiento y manipulación de información visoespacial (por ejemplo, la ubicación y el orden en el que aparecen secuencialmente celdas iluminadas en una cuadrícula o recordar las posiciones de celdas iluminadas en una matriz tras una rotación de esta). Para cada juego, los aciertos suman

Memoria de trabajo visoespacial, razonamiento lógico matemático y geometría: un punto de vista desde la Física para alumnado de 15 a 16 años  
puntos y los fallos restan, asignando la puntuación neta obtenida a un determinado nivel (Pearson Clinical Assessment España).

### 3.6. Procedimiento y cronograma

La realización de este estudio comenzará con la petición de aprobación de éste al comité ético de la Universidad de la Rioja (UNIR). Una vez concedida se contactará con el centro educativo seleccionado y se solicitará al equipo directivo una reunión en la que se informará sobre el proyecto de investigación y sus objetivos, y se pedirá autorización para desarrollarlo en el centro. Obtenida la autorización, y a través de jefatura de estudios del centro, se convocará una reunión con el profesorado de Física y Química de 4º ESO de los dos grupos implicados, en la que, además de informar del proyecto, se coordinará su necesaria colaboración en el mismo.

Posteriormente, y siguiendo el mismo procedimiento anterior, se convocará una reunión con las familias del alumnado de Física y Química de 4º ESO para informar del proyecto (Anexo F), pedir expresamente y por escrito el consentimiento informado de participación (Anexo G), e informar de cómo revocar dicho consentimiento (Anexo H); todo ello de conformidad con la Declaración de Helsinki (Asociación Médica Mundial, 2024) y el Reglamento (UE) 2016/679 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 27 de abril de 2016, relativo a la protección de las personas físicas en lo que respecta al tratamiento de datos personales y a la libre circulación de estos datos y por el que se deroga la Directiva 95/46/CE (Reglamento general de protección de datos).

Para realizar las medidas pretest, la investigadora coordinará con jefatura de estudios la localización y fechas de realización de la prueba de evaluación de la MTVE, que será realizada individualmente en las dependencias del centro en una única ubicación. La investigadora y una psicóloga acompañante se desplazarán al centro educativo los días de celebración de la evaluación y acompañarán al alumnado durante su desarrollo. En cuanto a la obtención de los datos de la segunda variable, la investigadora contactará con el profesorado implicado para acordar una reunión presencial en la que le será transmitida la información solicitada.

Posteriormente se realizará la intervención en el grupo experimental. Una vez finalizada, se efectuarán las medidas post-test, procediendo de igual forma que durante la fase de pretest. Finalmente se realizará el análisis comparativo entre medidas pretest y post-test.

La Tabla 3 muestra un cronograma que recoge la temporalización del procedimiento de implementación del estudio a realizar.

**Tabla 3.**

*Temporalización de la implementación del estudio.*

TAREA	MES 1				MES 2				MES 3				MES 4			
	SEMANAS				SEMANAS				SEMANAS				SEMANAS			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Comité ético UNIR	■															
Dirección IES	■	■														
Docentes IES		■	■													
Familias		■	■	■												
Consentimientos familias			■	■	■											
Pretest					■											
Aplicación CWMT						■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Post-test															■	■
Comparativa y análisis																■

Fuente: Elaboración propia.

### 3.7. Análisis de datos

Se llevarán a cabo dos tipos de análisis: un primer análisis descriptivo del comportamiento de las variables, y un segundo análisis inferencial de tipo comparativo. Para ello se hará uso del paquete estadístico IBM SPSS Statistics 29.0. Las pruebas estadísticas se realizarán utilizando un valor de significatividad de .05. La aplicación de los análisis está sujeta al carácter cuantitativo de las variables medidas.

Respecto a la aplicación de estadística descriptiva a las variables, se calcularán los siguientes índices: frecuencia, porcentaje, porcentaje válido y porcentaje acumulado; así como los estadísticos de tendencia central y de dispersión, media, moda, mediana, desviación típica e intervalo.

Posteriormente, respecto a la estadística de comparación entre grupos, se comprobará si los datos obtenidos de las variables medidas se ajustan a estadística paramétrica o no paramétrica. Se cumplen los criterios paramétricos si: las variables medidas son cuantitativas; si la distribución de datos de las variables se ajusta a una distribución normal. Para ello se evaluará si las variables se ajustan a una distribución normal a través de la prueba de Shapiro-

Wilk y de Kolmogórov-Smirnov, como si los grupos presentan homocedasticidad, a través de la aplicación de la prueba de Levene. Para que se cumplan los supuestos paramétricos en ambas pruebas se ha de obtener un valor de  $p$  superior a .05.

Si las variables se ajustan a estadística paramétrica, se aplicará la prueba  $t$  de Student para muestras independientes. En caso contrario, se utilizará la prueba  $U$  de Mann-Whitney. En ambas situaciones, para que existan diferencias estadísticamente significativas entre los dos grupos se ha de obtener un valor de  $p$  inferior a .05.

Para comparar las medidas pretest y post-test, se utilizarán pruebas de muestras relacionadas o medidas repetidas. Nuevamente, si las variables cumplen los supuestos paramétricos se aplicará la prueba  $t$  de muestras relacionadas; en caso de no cumplirse el supuesto de normalidad se aplicará la prueba  $W$  de Wilcoxon. En ambas situaciones un valor obtenido de  $p$  inferior a .05 implicaría la existencia de diferencias estadísticamente significativas.

En caso de hallar diferencias estadísticamente significativas entre variables, presumiblemente por haber aplicado el tratamiento, se calculará el tamaño del efecto mediante el parámetro  $d$  de Cohen.

### 3.8. Recursos humanos, materiales y económicos

Los recursos humanos que se necesitan para la realización de este proyecto en orden de aparición son los siguientes:

1. Docentes de Física y Química del alumnado participante, que reportan datos de la variable rendimiento académico en razonamiento lógico-matemático aplicado a la geometría en la recogida de información pretest y post-test.
2. Psicóloga que ejecuta la evaluación neuropsicológica de la MTVE del alumnado participante, evalúa los resultados obtenidos y dirige las sesiones de CWMT.

Los recursos materiales y económicos necesarios para la realización de este proyecto se muestran en la Tabla 4.

**Tabla 4.***Recursos materiales y económicos necesarios para la realización del proyecto.*

Recursos materiales/económicos	Valoración económica (€)
30 ordenadores portátiles (mínimo de 15) con paquete office instalado y conexión a Internet.	0 (centro educativo)
2 paquetes de folios, grapadora y 60 lápices.	35
Servicios psicóloga acompañante	600
1 licencia Cogmed anual	1131
TOTAL	1766

Fuente: Elaboración propia.

## 4. Discusión y Conclusiones

### 4.1. Discusión

El objetivo general de este estudio es analizar el efecto de la MTVE sobre el rendimiento académico en el razonamiento lógico-matemático aplicado a la geometría en estudiantes de Física de 4º ESO. Para ello se plantea aplicar un programa de mejora de la MTVE en el grupo experimental que favorece además la atención y el control de impulsividad.

El **primer objetivo** se centra en establecer si existen diferencias en la MTVE entre dos grupos de estudiantes de Física de 4º ESO, antes de aplicar un programa de intervención sobre la MTVE en uno de ellos. De acuerdo con la Hipótesis 1 se espera aceptar  $H_0$ . El **segundo objetivo** se centra en establecer si existen diferencias en el rendimiento académico en el razonamiento lógico-matemático aplicado a la geometría entre dos grupos de estudiantes de Física de 4º ESO, antes de aplicar un programa de intervención sobre la MTVE en uno de ellos. De acuerdo con la Hipótesis 2 se espera aceptar  $H_0$ . Tanto en el **primer objetivo**, como en el **segundo**, el que se confirmara la hipótesis supondría que los resultados obtenidos en esa variable se distribuyen sin grandes diferencias cancelando sus efectos diferenciales, aun tratándose de un diseño de investigación con asignación de sujetos a los grupos de forma no aleatoria. En caso de no confirmarse la hipótesis, se habría puesto de manifiesto la no equivalencia del grupo de control respecto al experimental; en ese caso se valoraría la acción a realizar en función de su menor incidencia sobre la validez interna de los resultados.

El **tercer objetivo** se centra en establecer si existen diferencias en la MTVE entre dos grupos de estudiantes de Física de 4º ESO, después de aplicar un programa de intervención sobre la MTVE en uno de ellos. De acuerdo con la Hipótesis 3, se espera rechazar  $H_0$ . Que se confirmara la hipótesis planteada podría indicar que se ha producido una mejora en los procesos entrenados de la MTVE a través de modificaciones de redes neuronales provocadas por la realización de tareas repetitivas, adaptativas y altamente demandantes asociadas a esos procesos. Es importante destacar que estas tareas difieren de las utilizadas en la evaluación de la MTVE, lo cual permite suponer que los efectos observados no son fruto de la práctica o del desarrollo de estrategias específicas, sino de una mejora de la MT. Por tanto, el desempeño del grupo experimental evidenciaría un efecto de transferencia cercana a corto plazo en la MTVE producto del entrenamiento. Esto es congruente con los resultados experimentales obtenidos por Caeyenberghs et al., (2016) y López et al., (2021) en sus estudios realizados con poblaciones de adultos jóvenes y niños de 6 años respectivamente, en los que se empleó el mismo programa de entrenamiento Cogmed. Por otro lado, el estudio realizado por Caeyenberghs et al., (2016) evidenció modificaciones en la red de atención frontoparietal tras el entrenamiento adaptativo de la MT y un aumento especialmente intenso de la conectividad en la zona de la red neuronal donde se sitúa el giro cingulado anterior derecho y la corteza prefrontal ventrolateral inferior derecha. El giro cingulado anterior derecho suele asociarse con el control de la atención y el esfuerzo mental. Este resultado experimental es consistente con el modelo de continuidad de la MT (Cornoldi et al., 2004) para el que los componentes espacial y visual incluyen recursos de control atencional locales y globales.

De no confirmarse la hipótesis, el grupo intervenido no obtendría mejoras significativas en la MTVE que el grupo de control. Esto puede haberse debido a la intervención de variables extrañas no controladas o al método de estimación del nivel de desempeño de la MTVE. Este nivel se consigue sumando los puntajes de las tareas correctamente realizadas de los tres últimos niveles alcanzados, siendo 3 el número de tareas por nivel y siendo necesario realizar 2 tareas correctamente para subir el nivel de dificultad; el valor numérico del puntaje de cada tarea coincide con número del nivel al que dicha tarea pertenece, y además cada tarea requiere de 2 ensayos previos de los que no consta su acierto o error. Este procedimiento puede traducirse en una falta de sensibilidad en el instrumento de medida al no puntuar las

tareas correctas realizadas en los ensayos y en los niveles anteriores a los tres últimos para cada participante.

El **cuarto objetivo** se centra en establecer si existen diferencias en el rendimiento académico en el razonamiento lógico-matemático aplicado a la geometría entre dos grupos de estudiantes de Física de 4ºESO, después de aplicar un programa de intervención sobre la MTVE en uno de ellos. De acuerdo con la Hipótesis 4, se espera rechazar  $H_0$ . El que se confirme la hipótesis planteada, podría implicar un efecto de transferencia lejana a corto plazo del entrenamiento de la MTVE implantado y una relación causal entre MTVE y rendimiento académico en el razonamiento lógico-matemático aplicado a la geometría.

Las evidencias experimentales citadas con anterioridad han mostrado la relación existente entre el logro en geometría y la MTVE. En la franja etaria de estudio estas evidencias sugieren que son los procesos activos de la MTVE los que predicen dicho logro con mediación de la inteligencia fluida (Kyttälä et al., 2008) y con menor contribución del sistema ejecutivo central cuanto mayor es la complejidad de la tarea a resolver (Cohen et al., 2023). Sin embargo, la evaluación de las tareas utilizadas en la medida del grado de desempeño en geometría no discriminó por procedimientos matemáticos empleados, por lo que, aunque se haya empleado la inferencia deductiva en la resolución de los problemas geométricos, no constan medidas de la variable razonamiento lógico-matemático en los trabajos revisados. Teniendo en cuenta esta consideración, el resultado obtenido en este trabajo podría ser compatible con estos estudios de corte correlacional.

Por tanto, en la literatura consultada, no existen investigaciones previas que hayan analizado el efecto de la MTVE sobre el rendimiento académico en la capacidad de razonamiento lógico-matemático aplicado a la geometría en estudiantes de Física de 4º ESO. Sin embargo, el que se confirmara la hipótesis planteada podría ser coherente con la teoría del modelo mental de razonamiento (Johnson-Laird, 1983; Jonson-Laird et al., 1991, como se cita en Duyck et al., 2003), y el modelo de continuidad de la MT (Cornoldi et al., 2004).

Desde la teoría de los modelos mentales, la primera etapa de construcción de la inferencia es la más importante, puesto que requiere comprender el contenido de las premisas y traducir la información aportada a un modelo inicial representativo del escenario planteado por las mismas. En el contexto del razonamiento silogístico de contenido geométrico aportado por la

física y, como evidenció Duyck et al., (2003), el primer modelo interno se construye bajo la acción de la MTVE y organiza la información espacialmente; es de esperar que la complejidad de la inferencia planteada y el hecho de aplicar una estrategia de resolución espacial (Bacon et al., 2003), tengan un efecto de sobrecarga sobre la MTVE (Bacon et al., 2008; Duyck et al., 2003) que conlleve una disminución de velocidad de procesamiento (Duyck et al., 2003) y/o un aumento en el número de errores en la resolución de la inferencia.

Por otra parte, el efecto en de las interferencias en la construcción del modelo inicial son consistentes con el modelo de continuidad de la MT (Cornoldi et al., 2004), para el que la realización efectiva de dos tareas simultáneas depende de la naturaleza de dichas tareas y del tipo de control requerido en su ejecución. En el caso de la combinación de tarea y contenido espaciales, ambas son de la misma naturaleza y el control requerido en la ejecución es alto (al ser ambas tareas activas), por lo que la disponibilidad de recursos cognitivos pudiera verse comprometida, apareciendo el efecto de un descenso en la velocidad de procesamiento de la información e incluso de pérdida de esta en la elaboración del modelo. Desde el enfoque de las diferencias individuales, la presencia e intensidad de estas interferencias dependerá de los recursos cognitivos del sujeto razonador. En este sentido, Darling et al., (2009) reportan que las tareas visuales secundarias interfieren con la MTV y no con la MTE, y las tareas espaciales secundarias interfieren con la MTE y no con la MTV con independencia de la presentación, secuencial o simultánea de la información a gestionar. Desde este enfoque y para el caso de sujetos participantes con dislexia, estos efectos se verían aumentados (Bacon et al., 2009).

Por otra parte, el proceso de razonar necesita del control atencional de la MT para mantener activa la información sobre la que operar y estudios de neuroimagen han confirmado que las mismas regiones de la corteza prefrontal están activas durante el funcionamiento del razonamiento y la MT (Dehn, 2017). Por tanto, una mejora en los procesos de alto control de la MT en las tareas espaciales y visuales entrenadas se podría haber traducido en una transferencia lejana afectando a la capacidad de razonamiento.

De no confirmarse la hipótesis planteada, el grupo experimental no obtendría mejor rendimiento académico en el razonamiento lógico-matemático aplicado a la geometría que el grupo de control. De haberse confirmado el efecto de transferencia cercana del programa de intervención, éste no podría extenderse a la capacidad de razonamiento, con la consecuencia de no poder establecer una relación causal entre MTVE y rendimiento académico en el

razonamiento lógico-matemático aplicado a la geometría. Este resultado podría ser congruente con el obtenido por Burgoyne et al., (2019) en el que no encontraron evidencia de que la capacidad de la MT (unidades de información mantenidas simultáneamente activas) sea un factor causal subyacente a las diferencias individuales en la inteligencia fluida para jóvenes adultos.

#### 4.2. Conclusiones esperadas

Se espera concluir que:

- Los grupos de control y experimental no presentan diferencias significativas en la variable MTVE antes de aplicar el programa de entrenamiento.
- Los grupos de control y experimental no presentan diferencias significativas en la variable rendimiento académico en el razonamiento lógico-matemático aplicado a la geometría antes de aplicar el programa de entrenamiento.
- El grupo experimental presenta diferencias significativas en la MTVE respecto al grupo de control en la variable MTVE después de haberle aplicado el programa de entrenamiento.
- El grupo experimental presenta diferencias significativas respecto al grupo de control en la variable rendimiento académico en el razonamiento lógico-matemático aplicado a la geometría después de aplicar el programa de entrenamiento. En consecuencia, se puede establecer una relación causal entre MTVE y rendimiento académico en el razonamiento lógico-matemático aplicado a la geometría en alumnos de Física de 4º ESO.

#### 4.3. Limitaciones esperadas

Las limitaciones que se mencionan a continuación podrían afectar a los resultados obtenidos:

- No se ha incluido un control de factores emocionales y motivacionales del alumnado participante en el diseño de la metodología.
- El que la asignatura sea impartida en los grupos de control y experimental por dos profesores distintos en los grupos de control y experimental.

Las limitaciones que se mencionan a continuación podrían tener incidencia en la discusión de los resultados obtenidos:

- Se aproxima el nivel de la MTV de la adolescencia tardía a la de la adultez dada la falta de consenso en la literatura consultada en el nivel de desarrollo alcanzado en esa franja evolutiva: Isbell et al., (2015) reportan que la capacidad de la MTV no alcanza los niveles adultos (21 años), ni en los primeros años (13 años), ni en los últimos de la adolescencia (16 años), sugiriendo que el rendimiento de la MTV se desarrolla a lo largo de los últimos años de la adolescencia hasta la edad adulta; Riggs et al., (2006) sugieren que la capacidad de la MTV alcanza el nivel de adulto a los 10 años; Brockmole et al., (2013) hallaron que la MTV alcanza su nivel máximo a los 20 años, produciéndose a continuación un declive lineal pronunciado.
- Se aproxima el nivel de la MTE de la adolescencia tardía a la de la adultez temprana dado que la MTE alcanza el nivel de adulto a los 19 años (Luna et al., 2004) y como reportan Luciana et al., (2005), a partir de los 13-15 años la MTE secuencial (activa y pasiva) permanece estable hasta los 20 años; la MTE simultánea pasiva es similar entre los 17 y 20 años y ligeramente superior a la franje de edad de los 13-15 años; la MTE de muy alto control con demanda de capacidad estratégica se desarrolla hasta aproximadamente los 16 años.
- Se aproximan la clasificación de estrategias de razonamiento de resolución de silogismos y su relación con el empleo de la MTVE en la adultez temprana, a la adolescencia tardía, dado que la etapa de operaciones formales se inicia a la edad de 12 años; se podría suponer que en la franja de edad de estudio los mecanismos formales del pensamiento están liberados de su contenido (Piaget et al., 2015) y las capacidades de abstracción y reflexión, fundamentadas ambas en la lógica proposicional, y el razonamiento científico están asentadas (Arimatea et al., 2023). En este sentido Tse (2017) indica que la MTVE es predictora significativa del desempeño en razonamiento lógico-deductivo en los estudiantes de 2º ESO.
- Las pruebas de evaluación de la MTVE empleadas no están estandarizadas para la población de estudio.
- El modelo de MT de continuidad (Cornoldi et al., 2004) sólo ofrece una clasificación semicuantitativa de las diferentes tareas visoespaciales desde el punto de vista del control atencional.

Por último, otra limitación es el hecho de no haber podido acceder a documentos completos de la bibliografía consultada con la consecuente falta de información.

#### 4.4. Prospectiva

Con respecto a futuras líneas de investigación se proponen las siguientes:

1. Sobre la base del estudio propuesto:
  - a) Identificar y controlar los factores motivaciones y emocionales del alumnado de ambos grupos considerándolos como variables extrañas.
  - b) Incluir al investigador como único docente de la asignatura en el centro educativo elegido, con la finalidad de:
    - Eliminar las diferencias en la influencia académica y motivacional que pudiera tener el profesor de la asignatura sobre los grupos experimental y de control.
    - Facilitar la recogida de información sobre el tipo de estrategia seguida por el alumnado en la construcción de argumentos (espacial o verbal) en los grupos de control y experimental.
  - c) Incluir un análisis del efecto de transferencia lejana a largo plazo del CWMT, tanto sobre la MTVE como sobre el rendimiento académico de la capacidad de razonamiento deductivo aplicado a la geometría en Física.
2. Realizar este estudio sobre la población de estudiantes de Física de 1º y 2º BACH incluyendo las propuestas anteriormente indicadas.
3. Diseño de Instrumentos de evaluación neuropsicológicos de la MTVE compatibles con el modelo de MT de Cornoldi y Vecchi para población española de edades comprendidas entre 15 y 18 años.

Con respecto a las aplicaciones educativas, la información aportada por este trabajo ofrecería la posibilidad de aplicar un programa de entrenamiento de la MTVE como recurso educativo, con el presumible efecto de incrementar la capacidad de razonamiento lógico-matemático aplicado a la geometría en la población de estudio. Por otra parte, pondría de manifiesto la importancia de conocer el tipo de sujeto razonador que es el alumno y su efecto sobre la MTVE a la hora de diseñar tareas de enseñanza-aprendizaje de nuevas estrategias de resolución de problemas deductivos que no sobrecarguen la MTVE.

## Referencias bibliográficas

- Arimatea J., La Chira M., Alcántara M., Arauco A., Ruiz J.M. y Ore F. (2023). *La inteligencia Lógica matemática: capacidad deductiva y habilidades cognitivas*. Mar Caribe.  
[http://editorialmarcaribe.es/?page\\_id=1863](http://editorialmarcaribe.es/?page_id=1863)
- Asociación Médica Mundial. (2024, octubre 19). *Declaración de Helsinki de la AMM-Principios éticos para las investigaciones médicas con participantes humanos*.  
<https://www.wma.net/es/policias-post/declaracion-de-helsinki-de-la-amm-principios-eticos-para-las-investigaciones-medicas-en-seres-humanos/>
- Baddeley, A. (2003). Working memory and language: an overview. *Journal of Communication Disorders*, 36(3), 189-208.  
[https://doi.org/10.1016/S0021-9924\(03\)00019-4](https://doi.org/10.1016/S0021-9924(03)00019-4)
- Baddeley, A. (2012) Working Memory: Theories, models and controversies. *Annual Review of Psychology*, 63, 1-29.  
<https://doi.org/10.1146/annurev-psych-120710-100422>
- Baddeley, A., Hitch, G.J. and Allen, R.J. (2019). From short-term store to multicomponent working memory: The role of the modal model. *Memory and Cognition*, 47, 575-588.  
<https://doi.org/10.3758/s13421-018-0878-5>
- Bacon, A., Handley, S. and Newstead, S.E. (2003). Individual differences in strategies for syllogistic reasoning. *Thinking and reasoning*, 9(2), 133-168.  
<https://doi.org/10.1080/13546780343000196>
- Bacon, A., Handley, S., Dennis, I. and Newstead, S.E. (2008). Reasoning strategies: The role of working memory and verbal-spatial ability. *European Journal of Cognitive Psychology*, 20(6), 1065-1086.  
<https://doi.org/10.1080/09541440701807559>
- Bacon, A. and Handley, S. (2009). Dyslexia and reasoning: The importance of visual processes. *British Journal of Psychology*, 101(3), 433-452.  
<https://doi.org/10.1348/000712609X467314>
- Bestué, M. (2022). *El rendimiento académico en alumnado de Educación Secundaria Obligatoria: efecto de las funciones ejecutivas y otras variables*. [Tesis doctoral, Universidad de Zaragoza]. Zaguán.

<https://zaguan.unizar.es/record/145213>

Borella, E., Carretti, B., Cornoldi, C. and De Beni, R. (2020). Working memory training from an individual differences. En J.M Novick, Michael F. Bunting, Michael Dougherty and Randall Engle (Eds). *Cognitive and Working Memory Training. Perspectives from Psychology, Neuroscience and Human Development*. (pp.14-40) Oxford University Press.

Brockmole, J.R. and Logie, R.H. (2013) Age-related change in visual working memory: a study of 55753 participants aged 8-75. *Frontiers in Psychology*, 4.

<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00012>

Burgoyne, A.P., Hambrick, D.Z and Altmann E.M. (2019). Is working memory capacity a causal factor in fluid intelligence? *Psychonomic Bulletin and Review*, 26, 1333-1339.

<https://doi.org/10.3758/s13423-019-01606-9>

Caeyenberghs, K., Metzler-Baddeley, C., Foley, S. and Jones, D. (2016). Dynamics of the Human Structural Connectome Underlying Working Memory Training. *The Journal of neuroscience*, 36(14), 4056–4066.

<https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.1973-15.2016>

Cardona, S., Vélez, J., y Tobón, S. (2016). Contribución de la evaluación socioformativa al rendimiento académico en pregrado. *EDUCAR*, 52(2), 423–447.

<https://doi.org/10.5565/rev/educar.763>

Carroll, J.B. (1993). *Human cognitive abilities: A survey of factor analytic studies*. Cambridge University Press.

[https://www.researchgate.net/publication/261592121\\_Human\\_Cognitive\\_Abilities\\_A\\_Survey\\_of\\_Factor-Analytic\\_Studies\\_by\\_J\\_B\\_Carroll](https://www.researchgate.net/publication/261592121_Human_Cognitive_Abilities_A_Survey_of_Factor-Analytic_Studies_by_J_B_Carroll)

Castrillo, P. y Díez, A. (2008). *Formas lógicas. Guía para el estudio de la Lógica*. UNED.

Cattell, R.B. (1971). *Habilidades: Su crecimiento, estructura y acción*. Houghton Mifflin.

<https://archive.org/details/in.ernet.dli.2015.139211/page/n1/mode/2up>

Cohen T., Paz-Baruch N. (2023). Individual Differences in Working Memory and the Impact on Students' Achievements in Solving Mathematical Problems in Analytic Geometry. (PREPRINT)

<https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3252402/v1>

Cornoldi, C., and Vecchi, T. (2004). *Visuo-spatial working memory and individual differences*. Taylor & Francis e-Library.

<https://doi.org/10.4324/9780203641583>

Darling, S., Sala, S.D. and Logie, R.H. (2009). Dissociation between appearance and location within visuo-spatial working memory. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 62(3), 417–425.

<https://doi.org/10.1080/17470210802321984>.

Deaño, A. (2009). *Introducción a la lógica formal*. Alianza editorial.

De Vita, Ch., Costa, M., Tomasetto, C. and Passolunghi, M. (2021). The contributions of working memory domains and processes to early mathematical knowledge between preschool and first grade. *Psychological Research* 86(2), 497–511.

<https://doi.org/10.1007/s00426-021-01496-4>

Dehn, M. J. (2017). How working memory enables fluid reasoning. *Applied Neuropsychology: Child*, 6(3), 245–247.

<https://doi.org/10.1080/21622965.2017.1317490>

Díez, J.A. y Ulises, C. (2008). *Fundamentos de la Filosofía de la Ciencia*. Ariel.

Duyck, W., Vandierendonck, A. and De Vooght, G. (2003). Conditional reasoning with a spatial content requires visuo-spatial working memory. *Thinking and reasoning*, 9(3), 267-287.

<https://doi.org/10.1080/1354678034000259>

Fanari, R., Meloni, C. and Massidda, D. (2019). Abilities Predict Early Math Skills: A Longitudinal Study. *Frontiers in Psychology*, 10.

<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.02460>

García, P. (2002). Geometría y Física. ¿Cara y cruz de una misma moneda?

<https://rac.es/ficheros/doc/00359.pdf>

Giofrè, D., Mammarella, IC, Ferrara, R. and Cornoldi, C. (2013). Visuospatial working memory in intuitive geometry, an in academic achievement in geometry. *Learning and Individual Differences*. 23, 114-122.

<https://doi.org/10.1016/j.lindif.2012.09.012>

González, M.J. (2019a). Psicología del razonamiento. En M.J. González (Ed), *Psicología del pensamiento* (pp.23-52). Sanz y Torres.

González, M.J. (2019b). Razonamiento silogístico: categórico y transitivo. En M.J. González (Ed), *Psicología del pensamiento* (pp.82-109). Sanz y Torres.

Horn, J.L. (1968). Organization of abilities and the development of intelligence. *Psychological Review*, 75(3), 242–259.

<https://doi.org/10.1037/h0025662>

INEE. (2023) PISA 2022. *Programa para la Evaluación Internacional de los Estudiantes. Informe español.*

[https://www.libreria.educacion.gob.es/libro/pisa-2022-programa-para-la-evaluacion-internacional-de-los-estudiantes-informe-espanol\\_183950/](https://www.libreria.educacion.gob.es/libro/pisa-2022-programa-para-la-evaluacion-internacional-de-los-estudiantes-informe-espanol_183950/)

Isbell, E., Fukuda, K. Neville, H.J and Vogel, E.K. (2015) Visual working memory continues to develop through adolescence. *Frontiers in Psychology*, 6 (696).

<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.00696>

Kyttälä, M. and Lehto, J. (2008). Some factors underlying mathematical performance: The role of visuospatial working memory and non-verbal intelligence. *European Journal of Psychology of Education*, 23 (1), 77-94.

<https://doi.org/10.1007/BF03173141>

Ley Orgánica 3/2020, de 29 de diciembre, por la que se modifica la Ley Orgánica 27/2006, de 3 de mayo, de Educación. (2020). Boletín Oficial del Estado, num. 340, 30 de diciembre de 2020.

<https://www.boe.es/eli/es/lo/2020/12/29/3>

López, M. y Arán, V. (2021). Transferencia de un entrenamiento de memoria de trabajo a las habilidades académicas y estrategias de resolución de problemas al inicio de la escolaridad. *Cuadernos de Neuropsicología*, 15 (3), 97-107.

DOI: 10.7714/CNPS/15.3.208

Luciana, M., Conklin, H.M., Hooper, C.J. and Yarger, R.S. (2005). The development of nonverbal working memory and executive control processes in adolescents. *Child Development*, 76(3), 697-712.

<https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2005.00872.x>

Luengo, L.O. (2015). *Rendimiento académico de los estudiantes de secundaria obligatoria y su relación con las aptitudes mentales y las actitudes ante el estudio*. [Tesis doctoral, UNED]. e-spacio.uned.es

<https://e-spacio.uned.es/entities/publication/2a569247-c21f-4669-aaf3-7ff8eef2156b>

Luna, B., Garver, K.E., Urban, T.A., Lazar, N.A. and Sweeney, J.A. (2004) Maturation of cognitive process from late childhood to adulthood. *Child Development*, 75(5), 1357-1372.

<https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2004.00745.x>

- Macchitella, L., Tosi, G., Romano, D.L., Iaia, M., Vizzi, F., Mammarella, I. C., and Angelelli, P. (2023). Visuo-Spatial Working Memory and Mathematical Skills in Children: A Network Analysis Study. *Behavioral Sciences*, 13(4), 294.  
<https://doi.org/10.3390/bs13040294>
- Mahajan, S., Marciniak, Z., Schmidt, B. and Fadel, Ch. (2016). PISA Mathematics in 2021. *Center for curriculum redesign*.  
<https://curriculumredesign.org/wp-content/uploads/Recommendations-for-PISA-Maths-2021-FINAL-EXTENDED-VERSION-WITH-EXAMPLES-CCR.pdf>
- Mammarella, I.C, Giofrè, D., Ferrara, R. and Cornoldi, C. (2012). Intuitive geometry and visuospatial working memory in children showing symptoms of nonverbal learning disabilities. *Child Neuropsychology*. 19(3), 235–249.  
<https://doi.org/10.1080/09297049.2011.640931>
- Manzanero, A. y Álvarez, M.A. (2015). *La memoria humana. Aportaciones de la neurociencia cognitiva*. Pirámide.  
[https://www.researchgate.net/publication/281822871\\_La\\_memoria\\_humana\\_Aportaciones\\_desde\\_la\\_neurociencia\\_cognitiva](https://www.researchgate.net/publication/281822871_La_memoria_humana_Aportaciones_desde_la_neurociencia_cognitiva)
- Mora, C. y Nieto, J. (2019). *Lógica matemática*. Ediciones universidad central.
- Observatorio de las ocupaciones. (2024). El mercado de trabajo de las ocupaciones STEM en España. *Servicio Público de Empleo Estatal*.  
<https://www.apte.org/wp-content/uploads/2025/05/4355-1.pdf>
- OECD (2014). *OECD Science, Technology and Industry Outlook 2014*, OECD Publishing.  
[https://doi.org/10.1787/sti\\_outlook-2014-en](https://doi.org/10.1787/sti_outlook-2014-en)
- Orden EDU/3/2023 por la que se regula la evaluación en la etapa de Educación Infantil, la evaluación y la promoción en la etapa de Educación Primaria, la evaluación, la promoción y la titulación en las etapas de Educación Secundaria Obligatoria y de Bachillerato y determinados aspectos relacionados con la evaluación y titulación en Formación Profesional en la Comunidad Autónoma de Cantabria. *Boletín oficial de Cantabria*, núm. 51, de 14 de marzo de 2023, 8553-8691.  
<https://boc.cantabria.es/boces/verAnuncioAction.do?idAnuBlob=386508>
- Ortega, M.R. (2006). Lecciones de Física. Mecánica 1. *Manuel R. Ortega Girón*.
- Pearson Clinical Assessment España (2025, noviembre 11). *COGMED*. Pearson.  
<https://www.pearsonclinical.es/cogmed>

Pérez A., Mammarella I., Del Prete F., Bajo T. y Cornoldi C. (2014). Capacidad geométrica y memoria visoespacial en población adulta. *Psicológica: Revista de metodología y psicología experimental*. 35(2), 225-249.

<https://www.uv.es/psicologica/articulos2.14/4PEREZ.pdf>

Piaget, J. e Inhelder, B. (2015). *Psicología del niño*. Morata.

<https://archive.org/details/piaget-j.-psicologia-del-nino/mode/2up>

Portellano, J.A. (2005). *Introducción a la neuropsicología*. MC Graw-Hill.

Real Decreto 217/2022, de 29 de marzo, por el que se establece la ordenación y las enseñanzas mínimas de la Educación Secundaria Obligatoria. *Boletín Oficial del Estado*, núm. 76, de 30 de marzo de 2022, 41571-41789.

<https://www.boe.es/eli/es/rd/2022/03/29/217/con>

Reglamento (UE) 2016/679 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 27 de abril de 2016, relativo a la protección de las personas físicas en lo que respecta al tratamiento de datos personales y a la libre circulación de estos datos y por el que se deroga la Directiva 95/46/CE (Reglamento general de protección de datos). *Diario Oficial de la Unión Europea*, núm. 119, de 4 de mayo de 2016, 1-88.

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:02016R0679-20160504>

Riggs, K.J., McTaggart, J., Simpson, A. and Freeman, R.P.J. (2006). Changes in the capacity of visual working memory in 5-to 10-year-olds. *Journal of Experimental Child Psychology*, 95(1), 18-26.

<https://doi.org/10.1016/j.jecp.2006.03.009>

Rivella, C., Cornoldi, C., Caviola S. and Giofrè D. (2021). Learning a new geometric concept: The role of working memory of domain-specific abilities. *British Journal of Educational Psychology*, 91(4), 1537-1554.

<https://doi.org/10.1111/bjep.12434>

Sevilla, C. (1994). Los procedimientos en el aprendizaje de la Física. *Enseñanza de las Ciencias*, 12(3), 400-405.

<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.4427>

Silverman, S. and Ashkenazi, S. (2021). The unique role of spatial working memory for mathematics performance. *Journal of Numerical Cognition*, 8(1), 226-243.

<https://doi.org/10.5964/jnc.7159>

Simons, D.J., Boot, W.R., Charness, N., Gathercole, S.E., Chabris, C.F., Hambrick, D.Z. and

Stine-Morrow, E.A.L. (2016). Do “Brain-Training” Programs Work? *Psychological Science in the Public Interest*, 17 (3), 103-186.

<https://doi.org/10.1177/1529100616661983>

Smith, E.E., Jonides, J., Koeppe, R.A., Awh, E., Schumacher, E.H. and Minoshima, S. (1995).

Spatial versus object working memory: PET investigations. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 7(3), 337–356.

<https://doi.org/10.1162/jocn.1995.7.3.337>

Stanovich, K.E. (2009). *What intelligence tests miss: The psychology of rational thought*. Yale University Press.

<https://ia600709.us.archive.org/11/items/psicology/What%20Intelligence%20Tests%20Miss%20%20The%20Psychology%20of%20Rational%20Thought%20-%20Stanovich%2C%20Keith%20E%20.pdf>

Tse, P.P. (2017). *Individual difference in deductive reasoning as a function of working memory and cognitive abilities* [Tesis doctoral, Universidad de Granada]. Digibug.

<https://digibug.ugr.es/handle/10481/48188>

## Anexo A. Competencias específicas, criterios de evaluación, saberes básicos y perfil de salida en la asignatura de Física y Química de 4º ESO.

### Competencia específica 2.

Expresar las observaciones realizadas por el alumnado en forma de preguntas, **formulando hipótesis** para explicarlas **y demostrando** dichas hipótesis a través de la experimentación científica, la indagación y la **búsqueda de evidencias**, para desarrollar los **razonamientos propios del pensamiento científico** y mejorar las destrezas en el uso de las metodologías científica. STEM1, STEM2.

Criterio de evaluación para la Competencia específica 2.

2.2 Predecir, para las cuestiones planteadas, respuestas que se puedan **comprobar** con las herramientas y conocimientos adquiridos, tanto de forma experimental como deductiva, aplicando **el razonamiento lógico-matemático** en su proceso de **validación**.

### 2. Saberes básicos.

#### A. Las destrezas científicas básicas:

Trabajo experimental y proyectos de investigación: estrategias en la resolución de problemas y el tratamiento del error mediante la indagación, **la deducción**, la búsqueda de evidencias y el **razonamiento lógico-matemático**, haciendo **inferencias válidas de las observaciones** y obteniendo conclusiones que vayan más allá de las condiciones experimentales para aplicarlas a nuevos escenarios.

#### D. La interacción.

-Predicción y comprobación, utilizando la experimentación **y el razonamiento matemático**, de las principales magnitudes, ecuaciones y gráficas que describen el movimiento de un cuerpo, relacionándolo con situaciones cotidianas y con la mejora de la calidad de vida.

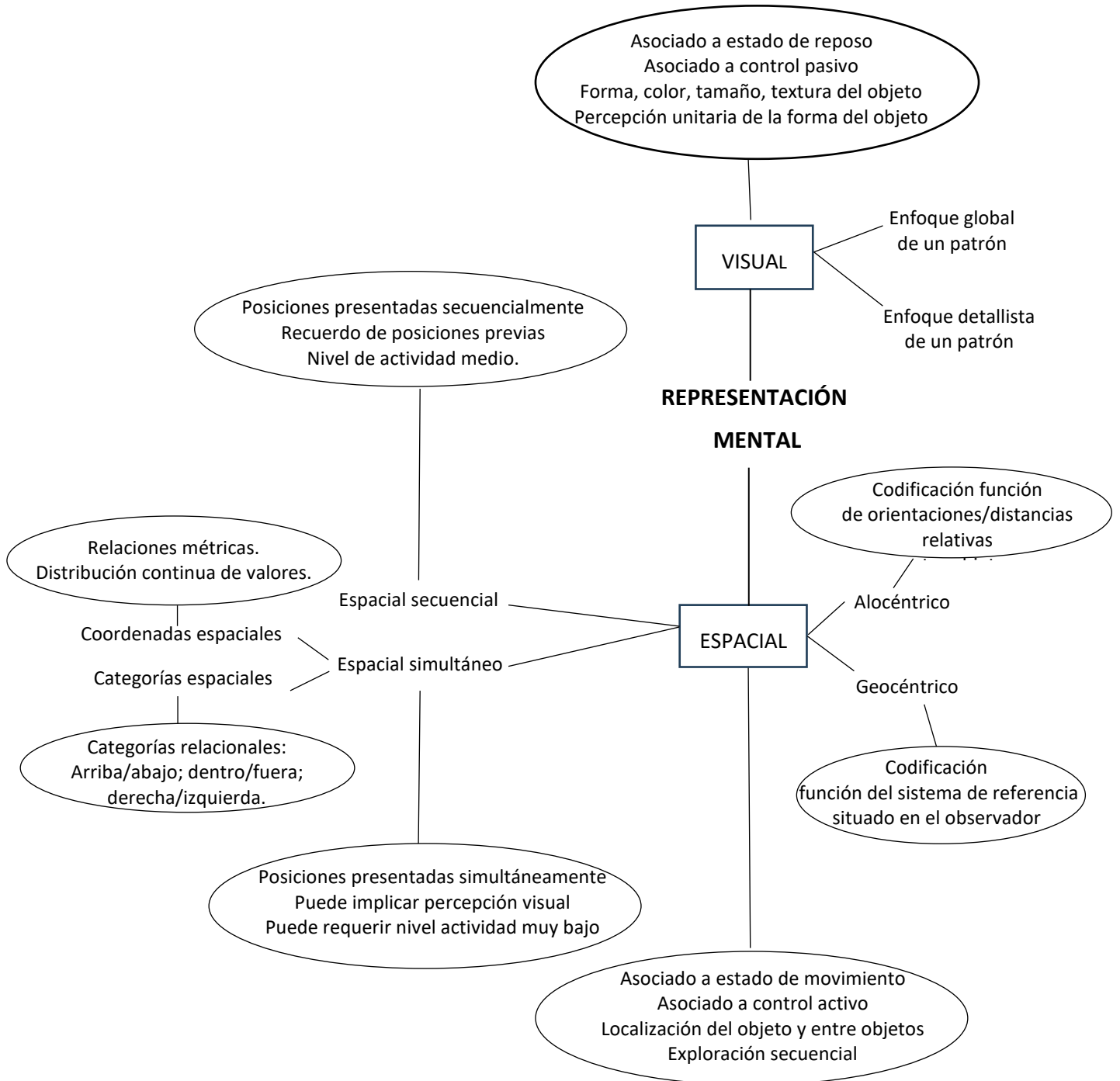
-Carácter vectorial de las fuerzas: uso del **álgebra vectorial básica** para la realización gráfica y numérica de operaciones con fuerzas y su aplicación a la resolución de problemas relacionados con sistemas sometidos a conjuntos de fuerza

### 3. Indicadores del perfil de salida para la competencia clave STEM.

STEM1. Utiliza métodos inductivos y deductivos propios del razonamiento matemático en situaciones conocidas, y selecciona y emplea diferentes estrategias para resolver problemas analizando críticamente las soluciones y reformulando el procedimiento, si fuera necesario.

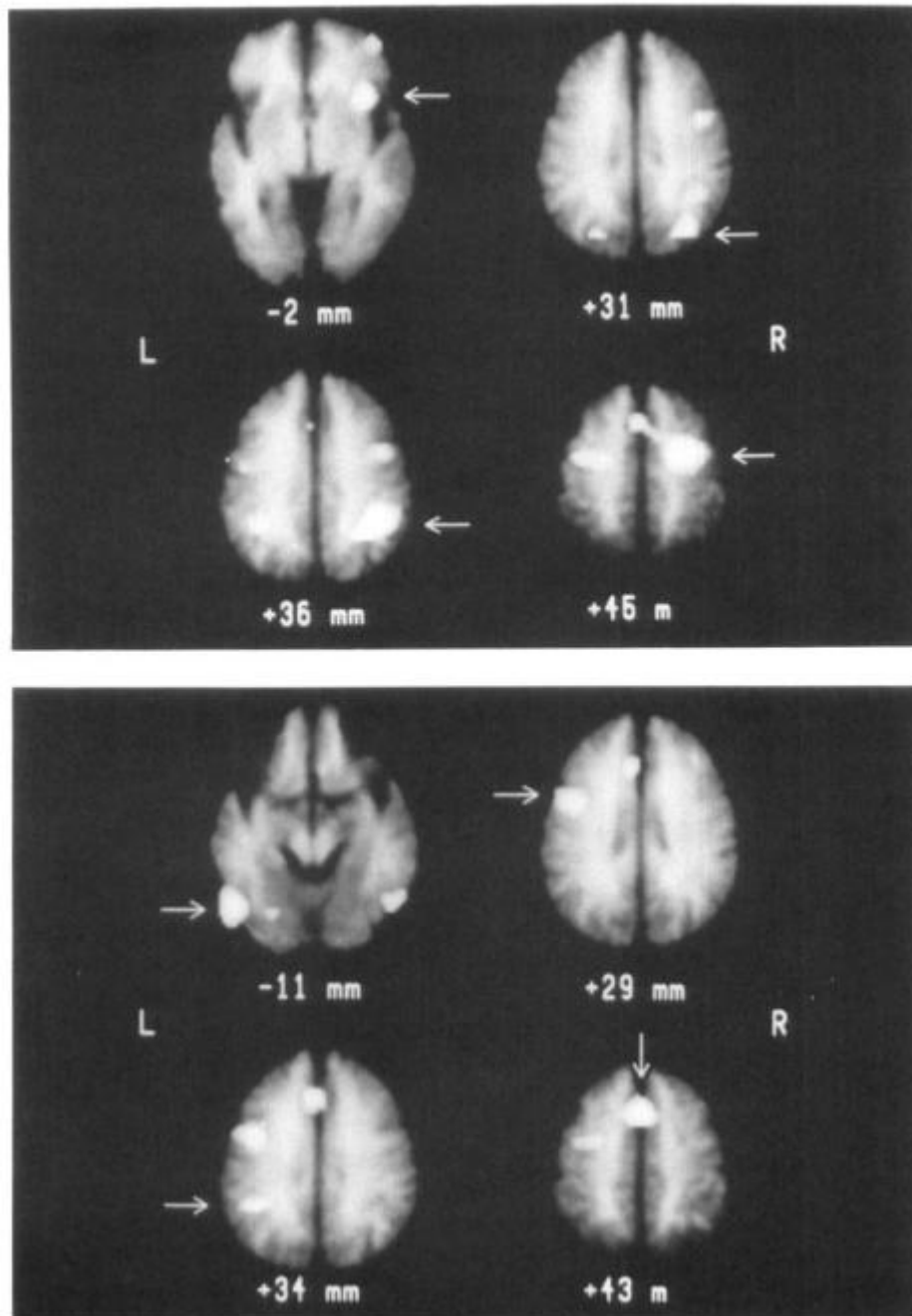
STEM2. Utiliza el pensamiento científico para entender y explicar los fenómenos que ocurren a su alrededor, confiando en el conocimiento como motor de desarrollo, planteándose preguntas y comprobando hipótesis mediante la experimentación y la indagación, utilizando herramientas e instrumentos adecuados, apreciando la importancia de la precisión y la veracidad y mostrando una actitud crítica acerca del alcance y las limitaciones de la ciencia.

## Anexo B. Características de los modos visual y espacial de la memoria de trabajo.



Fuente: Elaboración propia en base a Cornoldi et al., (2004)

## Anexo C. Imágenes PET de áreas cerebrales significativamente activas en tareas espaciales y visuales.



Fuente: Smith et al., 1995.

## Anexo D. Silogismos categóricos y teoría de modelos mentales.

<b>Nivel de dificultad de la estructura</b>	<b>Operaciones necesarias para la combinación de los modelos mentales</b>
Estructura 4 (más fácil) A-B B-C	No se requiere ninguna operación. La conclusión se lee directamente de las premisas.
Estructura 1 B-A C-B	Requiere una inversión del orden de las premisas.
Estructura 2 A-B C-B	Requiere una operación de inversión espacial entre los términos de la segunda premisa.
Estructura 3 (más difícil) B-A B-C	Requiere una operación de inversión espacial entre los términos de la segunda premisa y cambiar el orden de las premisas, o la inversión espacial entre los términos de la primera premisa.

Fuente: Adaptado de Johnson et al., 1991, como se cita en González, (2019b)

## Anexo E. Descripción pruebas de evaluación de la memoria visual y espacial.

### **1. Matriz simultánea de puntos.**

Se presentan simultáneamente un conjunto de puntos (de 2 a 8) dispuestos en una matriz 5x5. Posteriormente se muestra otro conjunto de puntos organizados en otra matriz, y los participantes tienen que responder “verdadero” (V) o “falso” (F) (presionando las teclas V y F en el ordenador) según las disposiciones de los puntos de ambas matrices fueran iguales o no, respectivamente.

### **2. Matriz de puntos.**

Después de presentar una suma o resta en forma de matriz cuadrada de puntos de orden 3, se muestra el resultado de la operación en otra matriz cuadrada del mismo orden; el sujeto ha de contestar “V” o “F” según el resultado de la operación correspondiese con la representación de puntos de esa última matriz. Posteriormente se muestra una matriz cuadrada de orden 5 con un punto ubicado en una celda concreta. Después de una serie de muestras de matrices con diferentes localizaciones de puntos, los participantes han de anotar en una matriz en blanco, la posición de todos los puntos representados en cada serie de muestras (de 2 a 5 puntos). La realización de esta tarea requiere de la utilización de papel y lápiz.

### **3. Figuras sin sentido.**

Se presentan simultáneamente entre 2 y 8 figuras sin forma concreta. Posteriormente se muestra una nueva disposición de figuras y el participante tiene que indicar si es igual (V) o no (F) a la primera.

### **4. Patrón visual activo.**

Se presenta una matriz con entre 2 y 10 celdas marcadas. Posteriormente el participante ha de señalar en una matriz en blanco las celdas que se corresponden con una posición inferior a las marcadas en la matriz mostrada inicialmente.

### **5. Matriz secuencial de puntos.**

Similar a la prueba Matriz simultánea de puntos; en esta, además de verificar las posiciones de los puntos en la matriz final presentada, se ha de indicar numéricamente el orden de presentación de estos.

### **6. Puzle.**

Se muestran imágenes de objetos inanimados durante 2 segundos. Posteriormente se muestra la imagen dividida entre 2 y 10 piezas numeradas a modo de puzle. El participante ha de anotar en las celdas de una matriz en blanco el número de la pieza que correspondería para generar la imagen completa presentada. El nivel de complejidad aumenta en función del número de piezas que componen el puzle. La realización de esta tarea requiere de la utilización de papel y lápiz.

## Anexo F. Consentimiento informado para proyecto de investigación.<sup>9</sup>

### INFORMACIÓN AL PARTICIPANTE

**Proyecto de investigación:** Análisis del efecto de la memoria de trabajo visoespacial sobre el rendimiento académico en el razonamiento lógico-matemático aplicado a la geometría en estudiantes de Física de 4º ESO.

Antes de proceder a la firma de este consentimiento, lea atentamente la información que a continuación se le facilita y realice las preguntas que considere oportunas a la investigadora principal, Mónica Olvera Gorts, de la Universidad Internacional de La Rioja (UNIR) en el correo [xxxxxxx@xxxxxxx.com](mailto:xxxxxxx@xxxxxxx.com)

#### Descripción

La Universidad Internacional de la Rioja, está realizando un estudio de investigación, cuyo principal objetivo es analizar el efecto de la memoria de trabajo visoespacial en el rendimiento en el razonamiento lógico-matemático aplicado a la geometría en estudiantes de Física de 4º ESO.

Para ello, se necesita evaluar el estado de dicha memoria antes y después de aplicar un programa de intervención sobre la misma. Por esta razón todo el alumnado participante en el estudio ha de ser evaluado en esta habilidad a través de la batería neuropsicológica BSV-Corsi y prueba de Miyake. Esta prueba se realizará en centro educativo en horario lectivo bajo la supervisión de una psicóloga cualificada para dirigir y evaluar los resultados de las diferentes tareas que conforman la prueba. La batería consta de 6 tipos de tareas destinadas a medir diferentes aspectos de la memoria de trabajo visoespacial del alumnado.

Posteriormente a la primera evaluación de la memoria de trabajo visoespacial, se intervendrá sobre un grupo-aula de alumnos, con un programa de mejora de esta, durante 25 sesiones de

---

<sup>9</sup> Modelo tomado de <https://www.unir.net/universidad-online/vicerrectorados/vicerrectorado-investigacion/cei/>

Memoria de trabajo visoespacial, razonamiento lógico matemático y geometría: un punto de vista desde la Física para alumnado de 15 a 16 años

30 minutos, 3 veces a la semana en jornada de tarde, en el centro educativo y bajo la supervisión de la investigadora y la psicóloga acompañante.

Este proyecto ha recibido una evaluación positiva del Comité de Ética de la Investigación de la Universidad Internacional de La Rioja y puede usted ponerse en contacto, si lo desea, con el comité en [cei@unir.net](mailto:cei@unir.net).

### **Relevancia**

La realización de este estudio permite establecer una relación causa efecto entre memoria de trabajo visoespacial y capacidad de razonamiento lógico-matemático en geometría para el alumnado de Física de 4º ESO, lo cual ofrece la posibilidad de mejorar el rendimiento académico del alumno en esta habilidad a través de una propuesta de intervención educativa en el aula que mejore su memoria de trabajo visoespacial.

### **Implicaciones para el/la participante**

La participación es totalmente voluntaria.

La participación en el programa de intervención se extenderá por un tiempo de 8 semanas y conllevará la asistencia del alumnado al centro tres veces a la semana, en jornada de tarde durante un tiempo máximo de 45 minutos.

Todos los datos de carácter personal obtenidos en este estudio son confidenciales y se tratarán conforme al RGPD (UE) 2016/679 y Ley Orgánica 3/2018 de Protección de Datos Personales y garantía de los derechos digitales (LOPDyGDD). Los datos serán tratados por los investigadores del estudio dependiente de la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DE LA RIOJA, S.A. (en adelante, UNIR), con las finalidades propias de este proyecto de investigación. Los datos no serán facilitados o comunicados a terceros, siendo conservados durante el tiempo que transcurre el proceso de investigación por el responsable de la investigación. Podrá ejercitar los derechos reconocidos en los artículos 15 a 22 del RGPD (UE) 2016/679, mediante solicitud dirigida a [xxxxxxx@xxxxxxx.com](mailto:xxxxxxx@xxxxxxx.com) donde podrá solicitar información adicional.

Puede retirarse del estudio cuando así lo desee, sin dar explicaciones y sin que esto tenga ningún tipo de repercusión sobre su situación actual.

La información obtenida se utilizará exclusivamente para los fines específicos de este estudio.

No recibirá ningún incentivo económico ni en bienes por su participación en el estudio.

Memoria de trabajo visoespacial, razonamiento lógico matemático y geometría: un punto de vista desde la Física para alumnado de 15 a 16 años

Tiene derecho a recibir una copia de este documento, así como del consentimiento firmado.

Este consentimiento será custodiado por Mónica Olvera Gorts.

### **Riesgos de la investigación para el participante**

No existen riesgos conocidos por participar en este estudio.

### **Beneficios de la investigación**

El beneficio general se centra en mejorar el rendimiento académico del alumnado en la capacidad de razonamiento lógico-matemático aplicado a la geometría en el ámbito de la Física y Química, mediante la mejora de su memoria de trabajo visoespacial.

Si tiene alguna pregunta o desea más información sobre esta investigación, puede contactar por correo [xxxxxxx@xxxxxxx.com](mailto:xxxxxxx@xxxxxxx.com)

**Recuerde que debe LEER Y FIRMAR el documento siguiente.**

## Anexo G. Declaración de consentimiento informado<sup>10</sup>

### DECLARACIÓN DE CONSENTIMIENTO INFORMADO PARA EL ESTUDIO

“ANÁLISIS DEL EFECTO DE LA MEMORIA DE TRABAJO VISOESPACIAL SOBRE EL RENDIMIENTO ACADÉMICO EN EL RAZONAMIENTO LÓGICO-MATEMÁTICO APLICADO A LA GEOMETRÍA EN ESTUDIANTES DE FÍSICA DE 4º ESO.”

Yo, Don/Doña \_\_\_\_\_,  
con DNI núm. \_\_\_\_\_,  padre,  madre,  tutor legal (tachar lo que proceda) de \_\_\_\_\_,

Consiento y apruebo participar en dicha investigación.

He leído el documento informativo que acompaña a este consentimiento (Información al participante).

He podido hacer preguntas sobre el estudio.

He recibido suficiente información sobre el estudio.

He podido resolver con el investigador principal, D<sup>a</sup>. Mónica Olvera Gorts, o en quién este haya podido delegar, cualquier duda que he podido tener a través de su teléfono, correo electrónico o por otro medio que se haya arbitrado para tal fin.

Comprendo que la participación es voluntaria y se es libre de participar o no en el estudio.

Se me ha informado de que la información obtenida sólo se utilizará para los fines específicos del estudio.

Comprendo que puedo retirarme del estudio:

- a. Cuando quiera.
- b. Sin tener que dar explicaciones.
- c. Sin que esto repercuta sobre ninguna acción.

\_\_\_\_\_

<sup>10</sup> Documento adaptado de <https://www.unir.net/universidad-online/vicerrectorados/vicerrectorado-investigacion/cei/>

Se me ha informado que, en el caso que se recabara algún dato de carácter personal, estos serán tratados por los investigadores participantes en este proyecto dependiente de la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DE LA RIOJA, S.A. (en adelante, UNIR), con las finalidades propias de este estudio. El tratamiento de los datos facilitados se realizará conforme a lo establecido en el presente documento, siendo necesarios para la ejecución de la presente autorización.

En cualquier caso, se me ha informado de que podré ejercitar los derechos reconocidos en los artículos 15 a 22 del RGPD (UE) 2016/679, mediante solicitud dirigida a [xxxxxxx@xxxxxxx.com](mailto:xxxxxxx@xxxxxxx.com) donde podré solicitar información adicional. En el caso de que así lo estime, podré interponer una reclamación ante la Agencia Española de Protección de Datos.

Presto libremente mi conformidad para participar en el proyecto titulado “ANÁLISIS DEL EFECTO DE LA MTVE SOBRE EL RENDIMIENTO ACADÉMICO ASOCIADO AL RAZONAMIENTO LÓGICO-MATEMÁTICO APLICADO A LA GEOMETRÍA EN ESTUDIANTES DE FÍSICA DE 4º ESO”.

*(Si solo uno de los padres, madres o tutores legales del menor firma, esta persona indica con su firma que actúa en representación del otro).*

En \_\_\_\_\_, a \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 202X

Don/Doña

Como participante en la investigación

Fdo.:

Don/Doña

Como investigador/a

[GRUPO/DEPARTAMENTO/FILIACIÓN]

Fdo.:

## Anexo H. Formulario de revocación de consentimiento informado<sup>11</sup>

### REVOCACIÓN DEL CONSENTIMIENTO

Título del estudio:

Sede donde se realiza el estudio:

Nombre de la persona interesada:

Por este conducto deseo informar mi retirada de este estudio por las siguientes razones (opcional):

Asimismo, retiro mi consentimiento al tratamiento de mis datos personales como consecuencia de la participación en la investigación.

**Firma de persona interesada**

**Fecha:**

---

<sup>11</sup> Modelo tomado de <https://www.investigacion.us.es/apoyo-al-investigador/comites-de-etica/comite-de-etica-de-investigacion-de-la-universidad-de-sevilla-ceius>