

Pensamientos científico y tecnológico: un estudio de sus relaciones mediante electroencefalografía cuantitativa (QEEG) en estudiantes de secundaria.

Julián D. Torres

Tesis doctoral

Dr. Pedro Nel Zapata Castañeda

Director

Universidad Pedagógica Nacional

Doctorado interinstitucional en Educación

Bogotá, junio de 2025

Tabla de Contenido

1	Introducción.....	16
2	Justificación.....	20
3	Antecedentes investigativos	29
3.1	Investigaciones que utilizan técnicas de neuroimagen en el estudio del PC y/o PT o mecanismos subyacentes a los mismos	30
3.2	Investigaciones que utilizan la electroencefalografía como técnica de neuroimagen para el estudio del pensamiento.....	37
4	Descripción, delimitación y formulación del problema	47
4.1	Objetivos	49
4.1.1	General.....	49
4.1.2	Objetivos Específicos.....	49
5	Marco Conceptual.....	51
5.1	Ciencia, Técnica y Tecnología.....	51
5.1.1	Concepciones sobre la Técnica	52
5.1.2	Concepciones sobre la Ciencia	56
5.1.3	Concepciones sobre la Tecnología.....	62
5.2	Relaciones entre ciencia, técnica y tecnología.....	70

5.2.1	Técnica y tecnología	70
5.2.2	Ciencia y tecnología.....	71
5.3	¿Qué es el Pensamiento?.....	75
5.3.1	Pensamiento Científico	79
5.3.2	Pensamiento Tecnológico	90
5.4	Electroencefalografía (EEG) y localización de fuentes.	106
5.4.1	Localización de fuentes.....	110
5.4.2	Tomografía electromagnética cerebral de baja resolución LORETA.....	112
6	Metodología.....	115
6.1	Diseño de la Investigación.....	115
6.2	Población Objetivo.....	117
6.2.1	Participantes	117
6.2.2	Intervención pedagógica y selección de participantes	119
6.2.3	Criterios de Inclusión	120
6.2.4	Criterios de Exclusión.....	120
6.2.5	Aprobación Ética.....	121
6.3	Procedimientos.....	121
6.3.2	Recolección de datos.....	139
6.4	Instrumentos.....	141

6.4.1	Software y Hardware	141
6.5	Preprocesamiento de Datos.....	145
6.6	Localización de fuentes.....	146
6.7	Pruebas Estadísticas	148
7	Resultados.....	150
7.1	Bloque ACE	150
7.2	Bloque ATE	162
7.3	Bloque ATCE.....	170
8	Discusión	183
9	Conclusiones.....	193
10	Alcances y limitaciones	200
11	Líneas futuras de investigación	203
12	Referencias	204

Índice de Tablas

Tabla 1 Diferentes Definiciones del Concepto de Ciencia.	58
Tabla 2 Definiciones del Concepto de Tecnología.	63
Tabla 3 Diferencias entre Ciencia y Tecnología.	73
Tabla 4 Principales Antecedentes del estudio del PC.	81
Tabla 5 Enfoques de estudio del PC.	83
Tabla 6 Procesos cognitivos relacionados e investigaciones relacionadas con el PC	86
Tabla 7 Características, atributos y componentes del PT.	91
Tabla 8 Descripción de los procesos mentales del PT identificados por Halfin.	92
Tabla 9 Procesos mentales del PT adicionados por Wicklein y Rojewski.	95
Tabla 10 Categorías comparadas entre Wicklein y Rojewski (1999) y Strimel (2014). ..	97
Tabla 11 Hallazgos sobre al uso de herramientas y daño cerebral.	98
Tabla 12 Análisis comparativo entre humanos y primates no humanos.	103
Tabla 13 Métodos de localización de fuentes paramétricos y no paramétricos.	112
Tabla 14 Utilidad y limitaciones del diseño de corte seccional.	116
Tabla 15 Conocimiento cognitivo de la adolescencia temprana y mitad de la adolescencia	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 16 Coeficiente de validez de contenido (CVC) para PC.	126
Tabla 17 Coeficiente de validez de contenido (CVC) para PT.	127
Tabla 18 Coeficiente de validez de contenido (CVC) para las tareas cognitivas.	130
Tabla 19 Especificaciones técnicas sistema Emotiv – Epoc+	142

Tabla 20 Fases implementadas para el procesamiento de datos.	145
Tabla 21 Grupo de datos comparados.	148
Tabla 22 Regiones cerebrales que presentan activación en función de la tarea.	180

Índice de figuras

Figura 1. Categorización las definiciones del concepto de ciencia.	60
Figura 2. Comparación de las principales técnicas de registro	109
Figura 3. Representación gráfica del problema directo e inverso.....	111
Figura 4. Acciones metodológicas.....	117
Figura 5. Tarea PC1 del bloque de ACE.....	132
Figura 6. Estructura secuencial de la tarea PC3 para el bloque de ACE.	133
Figura 7. Estructura secuencia Tarea PC4 Bloque ACE.....	134
Figura 8. Tarea PT1 para el bloque de ATE.	135
Figura 9. Estructura secuencial del bloque de pruebas para el PT.....	136
Figura 10. Tarea 1 del bloque de ATE.....	137
Figura 11. Estructura secuencial de la prueba.	140
Figura 12. Resultados a nivel de fuentes línea base vs bloque ACE Tarea PC1.	151
Figura 13. Resultados a nivel de fuentes línea base vs bloque ACE Tarea PC2.	153
Figura 14. Resultados a nivel de fuentes Bloque ACE Tarea PC3E vs bloque ACE Tarea PC3EC	154
Figura 15. Resultados a nivel de fuentes bloque ACE Tarea PC3R vs bloque ACE Tarea PC3RC.	155
Figura 16. Resultados a nivel de fuentes línea base vs bloque ACE Tarea 4-hipótesis (PC4H).	158

Figura 17. Resultados a nivel de fuentes línea base vs bloque ACE Tarea 4 – verificación (PC4V).....	160
Figura 18. Resultados a nivel de fuentes línea base vs bloque ATE Tarea PT1	163
Figura 19. Resultados a nivel de fuentes línea base vs bloque ATE Tarea PT2	165
Figura 20. Resultados a nivel de fuentes línea base vs bloque ATE Tarea PT3.....	167
Figura 21. Resultados a nivel de fuentes línea base vs bloque ATE Tarea PT4.....	169
Figura 22. Resultados a nivel de fuentes línea base vs bloque ATCE Tarea PTC1.	171
Figura 23. Resultados a nivel de fuentes línea base vs bloque ATCE Tarea PTC2.	173
Figura 24. Resultados a nivel de fuentes línea base vs bloque ATCE Tarea PTC3.	176
Figura 25. Resultados a nivel de fuentes línea base vs bloque ATCE Tarea PTC4.	178

Lista de anexos

- Anexo A. [Consentimiento informado](#)
- Anexo B. [Aprobación comité ético](#)
- Anexo C. [Carta de invitación expertos PC-PT](#)
- Anexo D. [Matriz de evaluación y test PC - PT](#)
- Anexo E. [Respuesta expertos matriz de evaluación PC-PT](#)
- Anexo F. [Prueba escrita de comprensión de conceptos](#)
- Anexo G. [Carta invitación expertos tareas cognitivas](#)
- Anexo H. [Matriz de evaluación y tareas cognitivas](#)
- Anexo I. [Respuesta expertos matriz de evaluación tareas cognitivas](#)
- Anexo J. [Prueba bloques ACE-ATE-ATCE](#)

Lista de Abreviaturas

10d	:	Area 10d
10v	:	Area 10v
11l	:	Area 11l
2	:	Area 2
23c	:	Area 23c
23d	:	Area 23d
24dd	:	Dorsal Area 24d
24dv	:	Ventral Area 24d
31a	:	Area 31a
31pd	:	Area 31pd
31pv	:	Area 31p ventral
33pr	:	Area 33 prime
3b	:	Primary Sensory Cortex
46	:	Area 46
47l	:	Area 47l (47ateral)
47m	:	Area 47m
52	:	Area 52
55b	:	Area 55b
5m	:	Area 5m

5mv	:	Area 5m ventral
6d	:	Dorsal area 6
6ma	:	Area 6m anterior
6r	:	Rostral Area 6
7Am	:	Medial Area 7A
7m	:	Area 7m
7PC	:	Area 7PC
7Pl	:	Lateral Area 7P
7Pm	:	Medial Area 7P
8Av	:	Area 8Av
8BL	:	Area 8Bateral
8C	:	Area 8C
9-46d	:	Area 9-46d
9m	:	Area 9 Middle
A1	:	Primary Auditory Cortex
a24	:	Area a24
a24pr	:	Anterior 24 prime
A4	:	Auditory 4 Complex
a47r	:	Area anterior 47r
AAIC	:	Anterior Agranular Insula Complex
AIP	:	Anterior IntraParietal Area
AVI	:	Anterior Ventral Insular Area

d23ab	:	Area dorsal 23 a+b
d32	:	Area dorsal 32
DVT	:	Dorsal Transitional Visual Area
EC	:	Entorhinal Cortex
FEF	:	Frontal Eye Fields
FOP1	:	Frontal Opercular Area 1
FOP2	:	Frontal Opercular Area 2
FOP3	:	Frontal Opercular Area 3
FOP4	:	Frontal Opercular Area 4
FOP5	:	Area Frontal Opercular 5
i6-8	:	Inferior 6-8 Transitional Area
IFJa	:	Area IFJa
IFJp	:	Area IFJp
IFSa	:	Area IFSa
Ig	:	Insular Granular Complex
IP0	:	Area IntraParietal 0
IP1	:	Area IntraParietal 1
IP2	:	Area IntraParietal 2
IPS1	:	IntraParietal Sulcus Area 1
LBelt	:	Lateral Belt Complex
LIPd	:	Areaateral IntraParietal dorsal
LO1	:	Areaateral Occipital 1

MBelt	:	Medial Belt Complex
MI	:	Middle Insular Area
MIP	:	Medial IntraParietal Area
MST	:	Medial Superior Temporal Area
MT	:	Middle Temporal Area
OP1	:	Area OP1-SII
OP2-3	:	Area OP2-3-VS
OP4	:	Area OP4-PV
p10p	:	Area posterior 10p
p24	:	Area posterior 24
p24pr	:	Area Posterior 24 prime
p25	:	Area posterior 24
p32	:	Area p32
p32pr	:	Area p32 prime
p47r	:	Area posterior 47r
p9-46v	:	Area posterior 9-46v
PBelt	:	ParaBelt Complex
PCV	:	PreCuneus Visual Area
PeEc	:	Perirhinal Ectorhinal Cortex
PEF	:	Premotor Eye Field
PFcm	:	Area PFcm
PFop	:	Area PF Opercular

PFt	:	Area PFt
PGp	:	Area PGp
PHA1	:	ParaHippocampal Area 1
PHA2	:	ParaHippocampal Area 2
PI	:	Para-Insular Area
PIT	:	Posterior InferoTemporal complex
POS1	:	Parieto-Occipital Sulcus Area 1
PreS	:	PreSubiculum
RI	:	RetroInsular Cortex
RSC	:	RetroSplenic Complex
s32	:	Area s32
s6-8	:	Superior 6-8 Transitional Area
SCEF	:	Supplementary and Cingulate Eye Field
SFL	:	Superior Frontal language Area
STSda	:	Area STSd anterior
STSdp	:	Area STSd posterior
STSva	:	Area STSv anterior
STSvp	:	Area STSv posterior
STV	:	Superior Temporal Visual Area
TA2	:	Area TA2
TE2a	:	Area TE2 anterior
TE2p	:	Area TE2 posterior

TF	:	Area TF
TGv	:	Area TG Ventral
TPOJ1	:	Area TemporoParietoOccipital Junction 1
TPOJ2	:	Area TemporoParietoOccipital Junction 2
TPOJ3	:	Area TemporoParietoOccipital Junction 3
v23ab	:	Area ventral 23 a+b
V3B	:	Area V3B
V4t	:	Area V4t
V6	:	Sixth Visual Area
V6A	:	Area V6A
V7	:	Seventh Visual Area
VMV1	:	VentroMedial Visual Area 1
VMV2	:	VentroMedial Visual Area 2
VMV3	:	VentroMedial Visual Area 3

1 Introducción

La Academia Estadounidense de Neurología, define la electroencefalografía cuantitativa (QEEG) como el procesamiento matemático de un electroencefalograma (EEG) registrado digitalmente para resaltar componentes específicos de la forma de onda y transformar el EEG en un formato o dominio que elucide información relevante, o asociar resultados numéricos con estados clínicos específicos, patrones diagnósticos y pronósticos neurológicos (Nuwer, 1997). El QEEG es considerado un análisis computarizado o digitalizado de un electroencefalograma (EEG). En ocasiones también llamado mapeo cerebral, el QEEG se usa, en compañía del EEG, para estudiar el cerebro, en torno a su funcionamiento y los posibles cambios que pueden presentarse en él, mientras se encuentra operando (*Quantitative EEG (QEEG) | Psychology Glossary | Alleydog.Com, n.d.*).

En el marco de esta técnica de análisis, en el siguiente documento se describen las características de la tesis doctoral titulada *Pensamientos científico y tecnológico: un estudio de sus relaciones mediante electroencefalografía cuantitativa(QEEG) en estudiantes de secundaria*, cuyo objetivo es caracterizar las posibles relaciones (diferencias y/o similitudes) que puedan existir entre el pensamiento tecnológico y el pensamiento científico a partir del análisis cuantitativo de las señales encefalografías (QEEG) que se generan a nivel cortical en 24 estudiantes de Ciclo 4 de educación (12 hombres y 12 mujeres), al resolver una Actividad Tecnológica Escolar (ATE), una Actividad Científica Escolar (ACE) y actividades tecno-científicas escolares.

En el primer capítulo, se presenta los argumentos que justifican la realización de la tesis doctoral. Estos se desarrollan en torno a tres ejes : primero, las visiones reformistas de la Unión Europea (UE), la Unesco y el Plan Nacional en torno al desarrollo de lo tecnológico; segundo, la dificultad para establecer relaciones entre el pensamiento científico (PC) y el pensamiento tecnológico (PT) y, tercero, la inexistencia de estudios relacionales entre PC y PT a nivel de la actividad cerebral que propician.

En el segundo capítulo, se exponen los aspectos más relevantes de 13 trabajos de investigación correspondientes a los antecedentes investigativos en los cuales se enmarca la tesis doctoral. Estos fueron resultados de una detallada indagación en diferentes fuentes nacionales e internacionales bajo 3 criterios: primero, investigaciones que utilizan técnicas de neuroimagen en el estudio del PC y/o PT o mecanismos subyacentes a los mismos; segundo, investigaciones que utilizan la electroencefalografía como técnica de neuroimagen para el estudio del pensamiento y, tercero, investigaciones cuyo objetivo es hallar relaciones entre la actividad cerebral del PC y/o PT.

En el tercer capítulo, se describe, delimita y formula el problema de investigación que orientó la tesis doctoral y se plantea tanto el objetivo general como los objetivos específicos. Respecto a estos últimos, estos se establecen en torno a caracterizar los modos de funcionamiento cerebral de un grupo de estudiantes de secundaria al resolver una actividad Científica Escolar (ACE), una actividad tecnológica escolar y una actividad tecno-científica mediante EEG.

En el cuarto capítulo, se desarrollan los conceptos principales en los cuales se enmarca la presente tesis doctoral. Además, se establece como se asume cada uno de estos dentro de la investigación desarrollada. En términos generales, los conceptos que aquí se desarrollan puede agruparse en cuatro grupos: concepciones sobre ciencia, técnica y tecnología; relaciones entre ciencia técnica y tecnología; pensamiento científico y tecnológico y procesos mentales asociados; y registro EEG y localización de fuentes.

El quinto capítulo está dedicado a esbozar todos los aspectos metodológicos involucrados en la investigación doctoral que aquí se propone. En este se describen aspectos como el diseño metodológico, las características de los participantes en función a su ciclo de desarrollo. Además, se describen las características de los equipos y las técnicas e instrumentos de recolección de información utilizadas. En este capítulo también se describen los materiales y procesos que subyacentes a la presente tesis doctoral. Es de resaltar que en este capítulo se detallan las ocho (8) fases secuenciales en las cuales se desarrolló la investigación y finaliza estableciendo las pruebas estadísticas aplicadas a los datos registrados mediante EEG en pro de establecer las relaciones entre el PC y PT.

El sexto capítulo, presenta los resultados obtenidos para cada uno de los bloques de tareas (ACE, ATE y ATCE) y proporciona un análisis detallado para cada una de las doce (12) tareas aplicadas. Además, se muestran de manera grafica las diferencias encontradas en las regiones cerebrales comparadas y se especifica el momento en términos de temporales donde se hallaron.

En el capítulo séptimo, se ofrece una discusión entre los hallazgos, los antecedentes y el marco conceptual. Finalmente, el octavo capítulo proporciona las conclusiones de la presente tesis doctora en función tanto de los objetivos establecidos como de la pregunta de investigación planteada.

2 Justificación

Es innegable pensar que la ciencia y la tecnología han transformado numerosos espacios de la sociedad actual. A ellas dos, se les atribuye grandes efectos sobre la sociedad contemporánea, específicamente en campos como; las tecnologías de la información, la comunicación, las de producción o las de biotecnología. En este mismo sentido, hoy día, la ciencia y la tecnología se consideran determinantes en el desarrollo económico de los países y de la calidad de vida de las personas (Martín y Osorio, 2003).

Asimismo, tanto la ciencia como la tecnología están llamadas, desde su omnipresencia y su naturaleza transformadora, a afrontar retos tales como: el crecimiento exponencial de la población mundial, el cambio climático, el desarrollo sustentable, la satisfacción de las crecientes necesidades básicas, la aparición de nuevas pandemias y suministro de empleos a una población mundial creciente frente a los cambios tecnológicos, entre otros no menos importantes.

Una consecuencia de las anteriores preocupaciones es el creciente interés desde lo institucional “por la alfabetización y la capacitación científico-tecnológica de la ciudadanía, con el objetivo de responder a las expectativas y necesidades de una sociedad cada vez más compleja” (Díaz y García, 2011, p.4). Son justamente estas expectativas y necesidades las que suscitan que la ciencia y la tecnología estén presentes tanto en las agendas gubernamentales como en las no gubernamentales.

En tal sentido, la declaración final del Congreso Mundial sobre Ciencia (organizado conjuntamente por la UNESCO y el Consejo Internacional para la Ciencia,

bajo el lema: La Ciencia para el Siglo XXI: Un nuevo compromiso, 2022), evidenció la necesidad de identificar nuevas estrategias para que la ciudadanía tenga acceso idóneo a los conocimientos científicos. En consecuencia, la gran mayoría de los 140 países que asistieron al congreso aumentaron el interés, desde sus políticas públicas, por mejorar la capacidad de los sistemas de educación para garantizar la calidad de la enseñanza y atender la demanda de profesionales cualificados (Martín y Osorio, 2003).

Al respecto, el Ministerio de Educación Nacional (MEN), la UNESCO y la Organización Internacional del Trabajo (OIT), a través de muchos de sus documentos (OIT, 2010), abogan por una enseñanza centrada en el desarrollo de competencias científicas, de allí el fuerte énfasis de las instituciones escolares sobre el aprendizaje de las ciencias básicas (química, física, biología, ecología, entre otras) y la matemática. Bajo este marco político nacional e internacional subyacen los principios del informe de Vannebar Bush al presidente Roosevelt (Albornoz, 1999) y el movimiento Pusgwa, los cuales señalaban que una interpretación escolar de la ciencia dura, de los laboratorios y los científicos, además de su rigor y sus alcances, representa una aproximación a la comprensión y a la alfabetización temprana de la ciencia con dominio popular, que dará como resultado una noción adelantada de sus usos, efectos y, por ende, una aproximación a su desarrollo, además de propiciar más generaciones con un mayor número de científicos (Albornoz, 1999).

Al respecto, Vannevar Bush (1945 como se cita en Albornoz, 1999) señala en su informe que, dicha alfabetización dará como resultado una preparación para enfrentar tres fenómenos sociales importantes: las pandemias, la guerra y el desarrollo científico.

40 años después del informe de Vannebar Bush, Edgar Morín (1985) abogaba desde la Unesco por una reconfiguración interdisciplinaria del conocimiento y por ende de los paradigmas centrales de la ciencia en una idea revolucionaria denominada "Pensamiento complejo" que se convirtió en la bandera de las ciencias sociales y reconfiguro en el núcleo externo y argumentativo de las ciencias naturales, más no sus prácticas positivistas y su núcleo central. Hoy, décadas después del informe (Albornoz, 1999) y de las reflexiones de Morín, la Unión Europea defiende una mirada de carácter interdisciplinar a través de experiencias de organización curricular como el STEAM, que gira en torno a la alfabetización científica, el desarrollo de lo tecnológico, el desarrollo del pensamiento crítico, de habilidades científicas y la indagación.

En este mismo sentido, la agenda 2030 de la UNESCO, en las metas planteadas en sus objetivos de desarrollo sostenible (ODS) 4 y 9, manifiesta la necesidad de:

propiciar una educación de calidad con resultados escolares pertinentes y eficaces, y la adquisición de conocimientos teóricos y prácticos necesarios para apoyar el desarrollo y mejoramiento de la capacidad tecnológica, el aumento de la investigación científica y el fomentando de la innovación nacional en los países en desarrollo (Naciones Unidas, 2018, p.45).

En el caso de Colombia, el Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022 (pp.50-55), propone dar un salto cualitativo en educación al asumir un enfoque más profundo en el estudio de la tecnología, el desarrollo del pensamiento tecnológico y computacional, para otorgarle un papel más relevante en el desarrollo educativo y económico de la nación.

Con base en lo anterior, asumiendo las actuales visiones reformistas de la UE, la UNESCO y el PND, es de esperarse que la escuela igualmente se transforme, pasando de currículos disciplinares, con un fuerte enfoque científico, a currículos y prácticas escolares más integrales y con mayor énfasis en la tecnología, y el pensamiento tecnológico (PT). Sin embargo, no es previsible que eso constituya una mejora real para la escuela y el progreso del país, pues no se reconocen diferencias significativas entre propiciar el pensamiento tecnológico sobre el tradicional pensamiento científico (PC).

Si bien el PC y el PT, han sido estudiados, aún resulta complejo establecer qué utilidad o ventaja trae el desarrollo de uno sobre otro, o de qué forma pueden ser relacionados. Surge así, la necesidad implementar mecanismos que limiten las posibles interpretaciones erróneas que se puedan tener sobre estos dos tipos de pensamiento.

Al respecto, el estudio de la cognición humana se reconoce como un campo pertinente para dar respuesta a dicha necesidad, pues comprender qué funciones cognitivas subyacen a la hora de razonar o pensar es fundamental para una comprensión más completa del pensamiento humano y para establecer un marco de referencia que permita depurar el número de modelos y teorías a considerar tratables (Fugelsang y Dunbar, 2005).

En el marco del estudio del pensamiento, con base en los procesos cognitivos identificados tanto para el PC (Dunbar y Klahr, 2012; McComas, 2014; Zimmerman, 2007), como para el PT (Halfin, 1973; Hill, 1997; Merchán, 2018), y con la necesidad de determinar las posibles relaciones entre el PC y PT, se presenta la neuroimagen como una técnica para su estudio, **en contraste con un enfoque puramente psicológico, que podría**

ser engañoso, ya que las teorías psicológicas a veces infieren mecanismos causales que no son compatibles con el funcionamiento real del cerebro, el cual opera de maneras particulares debido a sus orígenes biológicos y evolutivos (Thomas, Ansari, y Knowland, 2019).

Lo anterior se fundamenta en que la investigación del cerebro ha supuesto una revolución para el estudio del pensamiento y el comportamiento humano en general, pues ha permitido revelar las formas en que se organiza el conocimiento en el cerebro y comprender de forma razonable el funcionamiento interno de los subcomponentes de la mente (es decir, la resolución de problemas, las analogías, el pensamiento inductivo, entre muchos otros).

Es así como la neuroimagen se considera una técnica pertinente para validar presunciones teóricas como las de Simon (1977) (que con Bruner y Wason sentaron las bases para la investigación contemporánea sobre el PC) y Skekun (1981), quienes plantean que el PC y el PT emplean los mismos mecanismos de cognición generalizada e indirecta de la realidad (que todos los seres humanos poseen) como cualquier otro tipo de actividad mental (en lugar de ser un tipo de pensamiento completamente diferente) pero en combinaciones que son específicas para un aspecto particular.

Técnicas de neuroimagen como la resonancia magnética funcional (fMRI) han hecho posible ampliar el análisis del razonamiento científico, incluyendo el análisis sistemático de las áreas del cerebro asociadas a este (Fugelsang y Dunbar, 2005). La fMRI ha contribuido a la comprensión de la cognición superior, en particular las funciones de la corteza prefrontal humana. En cuanto a la utilización de técnicas

similares, algunos autores (Dunbar y Klahr, 2012; Fugelsang y Dunbar, 2005; Morrison y Knowlton, 2012) resaltan que el empleo de este tipo de enfoque en el estudio del PC permitiría:

- Indagar tanto en los aspectos de colaboración del PC como en los fundamentos neuronales de la mente científica;
- Emplear metodologías basadas en neuroimagen que permitan extraer inferencias más profundas con respecto a los posibles mecanismos que están involucrados en el PC;
- Avanzar en cuanto a cómo interactúan los procesos de razonamiento a nivel neuronal para que se puedan realizar descubrimientos científicos;
- Determinar el grado en que el razonamiento causal y deductivo reclutan circuitos neuronales comunes o distintos;
- Desarrollar modelos generales de razonamiento más completos y proporcionar mecanismos que describen cuándo el procesamiento puede diferir de acuerdo al requerimiento de la tarea;
- Identificar cómo se adquiere y se despliega la experiencia científica y de ingeniería en varios dominios.

Por otra parte, el Comité Internacional de Bioética de la UNESCO (2022) señala que neurotecnologías como EEG o fMRI tiene el potencial de generar beneficios significativos en áreas como la salud (abordando trastornos cerebrales), la educación, los videojuegos y la vida diaria. A sí mismo, UNESCO (2022), señala que, en las últimas

décadas, las neurociencias mediante el uso de diversas técnicas de neuroimagen han realizado grandes avances en la comprensión del cerebro humano en relación al aprendizaje. Este campo de estudio ha permitido una mayor comprensión de la neuroplasticidad y la neurología humana, así como de la memoria, el procesamiento de información, el desarrollo del lenguaje y el pensamiento complejo. Además, se ha investigado sobre los efectos de estímulos positivos y negativos en el aprendizaje, como el sueño, la actividad física, la emoción, el estrés y el abuso.

De este mismo modo, Orovas, Sapounidis, Volioti y Keramopoulos (2025), plantean que la neuroeducación basada en EEG tiene el potencial de enriquecer la comprensión de los procesos de aprendizaje y de contribuir a la mejora de las metodologías pedagógicas aplicadas en el aula.

A pesar de estos avances, la mayoría de los métodos de registro cerebral contemporáneos se utilizan en entornos altamente controlados, alejados de los contextos educativos (Han, Soylu y Anchan, 2019) y de las interacciones de la vida real. Aunque la identificación de las áreas cerebrales que se activan de forma selectiva durante la realización de diversas actividades de aprendizaje como la comprensión del lenguaje o el razonamiento matemático es una actividad de investigación muy popular, se ha revelado muy poco sobre cómo diseñar el aprendizaje y requerirá más investigación "transnacional" (que superan los límites de un solo país y operan en múltiples territorios) o "traduccional" (que se transfieren de un contexto de conocimiento a otro) (UNESCO, 2022).

A pesar de estos desafíos, los científicos han descubierto que la comprensión de la neurociencia tiene enormes implicaciones para la enseñanza y el aprendizaje. Por ejemplo, se han observado patrones y correlaciones fuertes entre los comportamientos y la actividad cerebral en entornos controlados de laboratorio. Sin embargo, aún no está claro cómo estos patrones pueden ser traducidos en entornos complejos de aprendizaje social, ni cómo pueden variar en diversas poblaciones, culturas, tiempos y espacios. Para que el conocimiento sea accesible a profesores, investigadores y estudiantes, se deben realizar avances en la investigación en este campo (UNESCO, 2022).

En consecuencia a lo hasta aquí expuesto, surge el interés por establecer, ¿qué es pensar científicamente y/o tecnológicamente a nivel de la actividad cerebral?, no solo por la necesidad de constituir criterios de comparación entre ambos pensamientos sino, también, para implementar **estrategias** que permitan: establecer un marco de referencia que depure modelos de estudio del PC y el PT; Orientar el diseño de actividades escolares que propicien el desarrollo de procesos mentales específicos, identificar causalidad y coherencia entre actividades educativas escolares, y desarrollar prácticas pedagógicas y didácticas en el aula y en la enseñanza de las ciencias y la tecnología que favorezcan este tipo de pensamientos.

Así pues, en concordancia con los planteamientos de Dunbar y Klahr (2012), Fugelsang y Dunbar (2005) y Morrison y Knowlton (2012), las actuales visiones reformistas de la UE, la UNESCO y el PND, y en la búsqueda de establecer las posibles relaciones existentes entre el PC y el PT en el marco de la actividad eléctrica cortical, este estudio tiene como problemática central ¿Cuáles son las características que definen

al PC y al PT en el marco de la actividad cortical del cerebro? y ¿Qué relaciones (similitudes o diferencias) a partir de su caracterización se pueden establecer entre dichos pensamientos?

3 Antecedentes investigativos

En este capítulo se presentan los antecedentes relacionados con trabajos de investigación orientados al estudio de los mecanismos cerebrales subyacentes al pensamiento científico y/o tecnológico mediante técnicas de neuroimagen.

La indagación propuesta se realizó tanto en literatura nacional como internacional (en idioma inglés, coreano y español) en revistas especializadas, tesis, handbook, paper y libros, que contaran con una versión digital para su revisión. De estas fuentes se destacan: Journal of Industrial Teacher Education, Journal of Technology Studies, Research in Science y Technical Education, journal of Engineering Education, Journal of Technology Education, Journal of Cognitive Education and Psychology, Journal of Research in Science Teaching, Frontiers in Psychology, Journal of Neurotherapy, Journal of Korean Practical Arts Education, The Cambridge Handbook of Thinking and Reasoning, The Oxford Handbook of Thinking and Reasoning, Handbook of Quantitative Electroencephalography and EEG Biofeedback.

En dichas Fuentes la revisión se llevó a cabo en el marco de tres (3) criterios de selección:

- Investigaciones que utilizan técnicas de neuroimagen en el estudio del PC y/o PT o mecanismos subyacentes a los mismos.
- Investigaciones que utilizan la encefalografía como técnica neuroimagen para el estudio del pensamiento.

- Investigaciones cuyo objetivo es hallar relaciones entre la actividad cerebral PC y/o PT.

En concordancia con lo anterior, se hallaron en total trece (13) estudios, de los cuales cinco (5) se relacionan con el primer criterio de selección y los ocho (8) restantes con el segundo. En cuanto al tercer criterio no se encontraron estudios con estas características.

Es importante destacar que los trece estudios son internacionales. A nivel nacional existen estudios de orden pedagógico sobre el desarrollo del PC y PT, sin embargo, estos no fueron incluidos dado que no se encuentran dentro de los criterios establecidos. A continuación, se presentan los hallazgos de acuerdo a los criterios de selección.

3.1 Investigaciones que utilizan técnicas de neuroimagen en el estudio del PC y/o PT o mecanismos subyacentes a los mismos

Fugelsang, Roser, Corballis, Gazzaniga y Dunbar (2005), en un estudio asistido por el uso de resonancia magnética funcional (fMRI), examinaron los correlatos neurales de la causalidad perceptiva. En el estudio participaron 7 mujeres y 9 hombres, con una edad promedio de 26,8 años. Todos los participantes eran diestros y sin antecedentes neurológicos ni visuales anormales.

El registro fMRI se realizó mientras los participantes observaban una pantalla rectangular dentro de la máquina de fMRI . Los voluntarios fueron escaneados mientras se visualizan bloques alternos de eventos causales, en los que una pelota choca y provoca

el movimiento de otra pelota y frente a eventos no causales en el que un espacio temporal precede al movimiento de una segunda bola.

Respecto a los hallazgos se encontraron niveles significativamente más altos de activación relativa en la circunvolución frontal media derecha y el lóbulo parietal inferior derecho para eventos causales en relación con eventos no causales. Además, cuando los efectos diferenciales de las incontigüidades espaciales y temporales se restaron de los estímulos contiguos, se observaron regiones de activación tanto comunes (prefrontal derecho) como únicas (parietal derecho y temporal derecho) en función del procesamiento espacial y temporal de la contigüidad, respectivamente.

Fugelsang et al., (2005), concluyen señalando que los datos proporcionados por el estudio son un medio para ayudar a determinar cómo el sistema visual extrae la causalidad de la información visual dinámica en el entorno utilizando señales espaciales y temporales. Agregan, además, que en la medida en que la percepción causal representa una facultad única que requiere circuitos neuronales especializados frente a una propiedad emergente que se basa en una red de recursos cognitivos compartidos sigue siendo una cuestión importante para la investigación futura.

En un estudio posterior, en el campo de la neurociencia educativa y con el uso de fMRI, Dunbar (2009) determinó cómo las redes de regiones cerebrales, que son altamente sensibles a las características del contexto en que se utilizan, están implicadas en el uso de conceptos científicos. En el estudio se empleó la fMRI para examinar las formas en que los diferentes contextos y expectativas son involucrados en el reclutamiento de regiones cerebrales específicas al razonar sobre escenarios físicos como

bolas que chocan y caen, o cuando se juzgaban las representaciones de moléculas antes y después de un cambio de fase.

Los anteriores experimentos fueron aplicados a cuatro grupos de personas divididos en categorías de novatos y expertos en áreas de física y química (no se especifica el número de estudiantes por grupo). Para los grupos de física, se pidió a los participantes que imaginaran que dos objetos que se presentaban frente de ellos eran bolas de billar o partículas cargadas, posteriormente se les mostró la misma situación en una película pero se les dijo a los participantes que se trataba de dos partículas cargadas positivamente, en ambas situaciones una de las esferas se desplazaba hacia un lado de la pantalla sin ser tocada por la otra, en el caso donde no se especificó las características de las esferas los participantes consideraron inverosímil el evento, sin embargo para la situación donde se especificó que eran partículas cargadas positivamente el evento se volvió plausible. Para el grupo de química y también con el uso fMRI, se tomaron imágenes mientras juzgaban las representaciones de moléculas de H₂O (agua) antes y después de un cambio de fase de líquido a gas.

En cuanto a los resultados, el primer experimento arrojó que, aunque las películas que observaron los estudiantes fueron idénticas en ambos escenarios, los patrones de activación cerebral fueron significativamente diferentes en los dos contextos. Las regiones en la circunvolución frontal medial derecha se reclutaron selectivamente para eventos plausibles en relación con los inverosímiles al juzgar las bolas de billar, mientras que las regiones en la circunvolución frontal media izquierda se reclutaron selectivamente al juzgar las partículas cargadas positivamente.

Los anteriores hallazgos apoyan la hipótesis de que la comprensión de la causalidad por parte de las personas es multidimensional y que la información contextual cambia la forma en que se reclutan las redes neuronales para la tarea. Para el segundo experimento, se encontró que los expertos en química mostraron niveles relativamente altos de actividad frontal inferior izquierda en esta tarea en comparación con los novatos, mientras que los novatos muestran niveles relativamente altos de actividad temporal y occipital inferior en comparación con los expertos. Los resultados son consistentes con los novatos en química que tratan la tarea como una forma de clasificación perceptiva, mientras que los expertos en química tratan la tarea como una forma de clasificación semántica / conceptual.

Al respecto, Dunbar (2009) concluye que algunos conceptos en física que están muy sintonizados con la percepción, a menudo se inhiben en los expertos con un aumento de activaciones en la detección de errores y redes inhibitorias de la corteza prefrontal, en lugar de haber sufrido una reorganización conceptual total. Otros conceptos, como los implicados en la causalidad perceptiva, pueden activar regiones cerebrales muy diversas, dependiendo de las instrucciones de la tarea. Agrega que, un componente clave del discurso y razonamiento de estudiantes y científicos es el pensamiento analógico.

Finaliza justificando el por qué algunas intervenciones educativas son más exitosas que otras y por qué ciertos tipos de intervenciones educativas son apropiadas para algunos contextos, pero no para otros.

Utilizando la misma técnica de neuroimagen de los anteriores trabajos, Masson, Potvin, y Riopel (2012), identificaron los mecanismos cerebrales relacionados con el

cambio en los conceptos eléctricos, empleando fMRI. Este estudio tuvo como objetivo facilitar el diseño y la implementación de estudios de imágenes cerebrales relacionados con el aprendizaje de las ciencias por medio de la presentación del marco epistemológico y metodológico de un estudio mediado por fMRI.

La investigación se desarrolló en dos momentos: el primero orientado a una revisión de la literatura, donde se justifica la pertinencia de estudiar el cambio conceptual utilizando fMRI. Masson et al. (2012), plantean que las imágenes cerebrales ofrecen oportunidades prometedoras y sin precedentes para la investigación del cambio conceptual y como puede contribuir significativamente al desarrollo del conocimiento sobre el cambio conceptual. El segundo, se enfoca en mostrar cómo se pueden aplicar las imágenes cerebrales en la investigación en educación científica.

Respecto a la metodología empleada, el estudio contó con dos grupos estudiantes de licenciatura, 12 estudiantes de pregrado en humanidades (novatos) y 11 estudiantes de licenciatura en física (expertos). Ambos grupos estuvieron conformados por hombres diestros, entre 19 y 30 años. La tarea cognitiva asignada (de carácter visual en correspondencia a las limitaciones de la técnica empleada) a cada uno de los grupos consistió en determinar por parte de los participantes si los circuitos eléctricos presentados en una pantalla son consistentes o no, con una situación de la vida real. Para comparar, el grupo de expertos con el grupo de novatos en ciencia se utilizó el análisis de efectos aleatorios.

Masson et al., (2012), concluyen señalando que: Las imágenes cerebrales pueden ser empleadas como una poderosa herramienta para complementar los métodos que

suelen utilizar los investigadores en educación. Agregan, que se espera que, en los próximos años, se desarrollen tareas cognitivas de fMRI relacionadas con la enseñanza de las ciencias que faciliten significativamente la reutilización de estas en diferentes contextos de investigación para lograr diferentes estudios.

Estos autores afirman, que en el momento en el que se identifican los correlatos neuronales de la experiencia científica, es mucho más fácil interpretar los datos de neuroimagen con respecto, por ejemplo, a los efectos de una estrategia de enseñanza particular o a los efectos de varios enfoques pedagógicos y, especialmente, para vincular estos datos a la educación científica con el fin de mejorar la enseñanza de las ciencias.

Por otro lado, mediante el uso de electroencefalografía (EEG) superficial Kim, (2010), llevó a cabo un estudio con estudiantes de educación primaria (5° grado) donde analizó las ondas cerebrales presentes en el proceso de pensamiento de resolución de problemas tecnológicos. El estudio se realizó con la participación 24 estudiantes de primaria a quienes se les presentó un problema tecnológico constituido por dos situaciones problemáticas, en la primera se les solicitaba que imaginaran como crear un recipiente creativo de usos múltiples y, en la segunda, se les mostró como una placa de madera se partía cuando se atornilla a otra. En torno a esta situación, se les solicitó que imaginaran la causa por la cual se rompía la placa y de qué forma debía realizarse la acción de atornillar para no afectar la integridad del material.

El análisis de los datos EEG recolectados se realizó en el rango de los ritmos Beta (13 hz a 30 hz) tanto bajos (13 hz a 20 hz) como altos (20hz a 30 hz) y alrededor

de tres (3) variables se tuvieron en cuenta, a saber: el género, la formación académica y la creatividad.

Frente a los resultados Kim (2010), señala que: el grado de actividad del lóbulo derecho fue mayor que el del lóbulo izquierdo en las bandas de frecuencia Beta alta y Beta baja durante la realización de la tarea del recipiente. Respecto a la tarea de la placa de madera, los resultados fueron similares solo en la banda de frecuencia Beta baja. En cuanto al análisis entorno a las 3 variables planteadas, para la primera tarea, en el lóbulo derecho, el grado de actividad del grupo femenino frente al masculino fue mayor en la banda Beta baja. Para esta misma tarea, tanto el grupo de poca creatividad como el grupo de baja formación académica presentaron un mayor grado de actividad en las ondas Beta altas respecto a sus respectivas contrapartes en esta misma zona del cerebro.

En cuanto a la segunda tarea, el autor resalta que, tanto el grupo femenino y el grupo de baja formación académica presentaron una mayor activación en la banda Beta baja que sus contrapartes.

En un estudio posterior, Kim, (2011) analizó la actividad EEG de estudiantes de secundaria mientras llevaban a cabo una actividad de visualizar una invención. Para este fin, fue implementada una tarea que consistía en imaginar cómo podría crearse un cómodo pupitre escolar. En este estudio participaron un total de 20 estudiantes (10 hombres y 10 mujeres). Para el análisis, se verificó estadísticamente la diferencia en la actividad EEG entre estudiantes de secundaria en torno a 2 variables: género y nivel de rendimiento académico.

Frente a los resultados del estudio, Kim, (2011), señala que la actividad EEG del grupo masculino fue mayor que la del grupo femenino y que la actividad EEG en los ritmos, alfa, beta, del grupo masculino fue mayor que la del grupo femenino en un nivel estadísticamente significativo.

3.2 Investigaciones que utilizan la electroencefalografía como técnica de neuroimagen para el estudio del pensamiento.

Gracias al fortalecimiento de las neurociencias, en los últimos 10 años ha aumentado considerablemente el interés por el uso de métodos de neuroimagen como la electroencefalografía (EEG) en la investigación del pensamiento, el análisis interno de las estructuras cerebrales y la identificación de correlaciones entre los mecanismos que subyacen el aprendizaje (entre otros no menos importantes). El interés en el uso de la EEG como técnica de neuroimagen radica, sobre todo, en su carácter no invasivo, su alta resolución temporal (más no espacial), su bajo costo respecto a otras técnicas y sus posibilidades frente a las limitaciones que presentan, por ejemplo, técnicas como la fMRI.

A continuación, se presentan ocho trabajos que utilizan la EEG para escanear la actividad eléctrica del cerebro mientras se evalúa: la solución de problemas, la carga cognitiva, los procesos que implican creatividad, pensamiento divergente, problemas lógico-matemáticos verbales, asociaciones remotas, imaginación visual y creatividad musical.

En cuanto a la solución de problemas y carga cognitiva, Park et al., (2015) en su trabajo presentan el impacto de la educación orientada por el pensamiento computacional en la capacidad de resolución de problemas y su efecto para reducir la carga cognitiva de los estudiantes durante la resolución de problemas basados en pensamiento computacional. La intervención se realizó con dos grupos, uno de ellos de control. Para medir el impacto de la educación en pensamiento computacional se evaluó la capacidad mediante el test de solución de problemas basados en pensamiento computacional. Se utilizó EEG con el fin de observar los cambios en el nivel de carga cognitiva de los estudiantes durante los procesos de resolución en los canales Fp1 y Fp2. En el estudio participaron 34 estudiantes; 16 hombres y 18 mujeres, entre 20 a 24 años de edad.

Frente a los resultados del estudio, el grupo que recibió educación en pensamiento computacional evidenció resultados más altos en la prueba. Respecto a los registros EEG y el SEF- 95 (indicador que se utiliza ampliamente para evaluar la carga, el nivel de estrés mental y el excesivo nivel de excitación mental al realizar una tarea), fue menor en el grupo que recibió la intervención en comparación con el grupo que no.

Park et al. (2015), señalan como conclusión que el estudio presenta una estrategia sistemática para la resolución de problemas que puede ayudar a mejorar las habilidades de resolución de problemas de los estudiantes, especialmente en la capacidad de pensar estratégicamente para resolver problemas. Plantean, además, que el sistema cognitivo puede estabilizarse cuando los estudiantes se enfrentan a situaciones problemáticas complejas y aprenden repetidamente estrategias de resolución de problemas. Este estudio

se destaca por combinar el enfoque tradicional de las pruebas en papel con la evaluación biométrica para obtener un resultado más objetivo.

En la misma línea, Papuc, Bălan, Dascălu, Moldoveanu, y Morar (2017), orientan su trabajo a verificar si la música lenta y relajante influye en la creatividad, con efectos en las variaciones de amplitud de las ondas cerebrales, especialmente en la banda de frecuencia alfa (8-12 Hz). La investigación se desarrolló a partir de la medición de la carga cognitiva durante una serie de tareas creativas que implican pensamiento divergente mientras, se escucha música relajante. El estudio se llevó a cabo mediante un conjunto de actividades que requerían el empleo de pensamiento divergente para proponer el uso alternativo de objetos. Una de las tareas empleadas fue solicitarles a los seis participantes (cinco eran estudiantes de pregrado y un docente) que pensarán en usos poco comunes de cinco (5) palabras diferentes: lápiz, ladrillo, llave, clip y zapato mientras se escucha música lenta y relajante.

En cuanto al registro de las ondas cerebrales, cada uno de los participantes fue escaneado mediante EEG en el instante que realizaba cada una de las actividades, obteniendo así los registros de la potencia bruta en estado de relajación. Se analizó, además, los usos alternativos de las etapas creativas, la verbalización del procedimiento experimental y la sincronización / desincronización relacionada con la tarea entre estas fases.

Los resultados del estudio muestran que el aumento de la actividad alfa en el hemisferio izquierdo se correlaciona con una mayor originalidad en las respuestas de los sujetos. Los autores concluyen, que la música relajante induce la creatividad y provoca

un aumento de las ondas cerebrales alfa durante la generación de ideas innovadoras y la verbalización con un nivel disminuido de carga cognitiva.

Con en el mismo interés, Dan y Reiner (2017), llevaron a cabo una revisión documental de cómo el registro EEG en tiempo real de la carga cognitiva, puede brindar información para mejorar el aprendizaje en los estudiantes mientras ejecutan una determinada tarea. Al respecto, los autores señalan que, a partir de los métodos empleados en el diseño instruccional de una actividad, puede ser optimizada la capacidad de la memoria de trabajo y evitar la sobrecarga cognitiva. Proponen que presenciar los cambios psicofisiológicos durante la respuesta a una sesión de aprendizaje permite realizar ajustes en función de las capacidades individuales del participante.

Mills, Fridman, Soussou, Waghay, Olney, y D'Mello (2017), con objetivos similares a los planteados por Dan y Reiner (2017), utilizaron en su estudio detectores de carga cognitiva basados en EEG durante el aprendizaje, con el fin de optimizar las estrategias de instrucción, para ello utilizaron de forma experimental un sistema de tutoría inteligente en dos niveles (fáciles y difíciles) y estimaciones basadas en EEG de la carga cognitiva de los participantes. Entre sus resultados se destacan el hallazgo de una correlación entre la dificultad de la tarea, el rendimiento en el aprendizaje y las estimaciones de carga cognitiva en los indicadores EEG. En función de lo anterior, concluyen que el EEG puede ser una fuente viable de datos para modelar los estados mentales de los estudiantes en una sesión de 90 minutos.

Frente a la creatividad, Steven y Zabelina (2019) realizaron una revisión documental de los recientes avances en el estudio de la creatividad mediante el uso de

EEG, destacando el trabajo empírico sobre la creatividad como pensamiento divergente, asociaciones remotas, imaginación visual y creatividad musical. En su revisión, destacan las tareas más comunes que se emplean para evaluar el pensamiento creativo y resaltan el potencial de la EEG como medio para esclarecer procesos neuronales complejos y transitorios, relacionados con la creatividad.

En el trabajo anterior, los autores concluyen que el aumento de la actividad alfa es un patrón común de varios procesos creativos y que las personas más creativas tienden a tener más actividad en esta banda de frecuencia. Frente a las bandas theta y gamma, señalan que estas juegan un papel importante en la cognición creativa.

En el campo de la solución de problemas y su relación con la actividad alfa del cerebro, se destacan el estudio llevado a cabo por Molina del Río, Guevara, Hernández, Hidalgo, y Cruz, (2019) quienes evaluaron la activación y correlación EEG de las regiones prefrontal, temporal y parietal al resolver problemas lógico-matemáticos verbales. De acuerdo con los autores, la resolución de problemas lógicos y matemáticos es una compleja tarea que requiere numerosas operaciones cognitivas. Estas habilidades se han asociado con la activación de las cortezas parietal, temporal y prefrontal. Los autores sugieren, además, que el razonamiento involucrado en la resolución de problemas lógico-matemáticos requiere de un funcionamiento coordinado de todas estas áreas corticales.

Respecto a la resolución de problemas complejos, el estudio concluyó que existe una correlación entre esta actividad y un mayor potencial absoluto de las ondas alfa rápidas, entre la corteza frontal y parietal izquierda, asimismo, de una desactivación de la

corteza temporal. Molina del Río et al., (2019), señalan, además, que la disminución de la correlación parietal-temporal podría estar asociada al procesamiento del texto y la anulación del razonamiento que depende del contenido, para enfocar los recursos cognitivos, en el razonamiento matemático

En congruencia con el estudio anterior, Daly, Bourgaize, y Vernitski, (2019), exploran la motivación a través de autoinformes y los correlatos neuronales de los niveles de motivación y el sentido de afecto mientras los participantes intentan resolver los problemas formulados de acuerdo con la teoría de la mentalidad y los problemas estándar. Los autores plantean que la teoría de la mentalidad matemática sugiere que la motivación de los estudiantes en matemáticas puede aumentar si se descomponen los problemas utilizando un conjunto de ideas recomendadas.

De lo anterior, como resultado de la investigación, los autores encontraron aumentos significativos en la motivación para los problemas de mentalidad en comparación con problemas estándar. En cuanto al análisis EEG, hallaron diferencias significativas en la actividad cerebral representada en asimetrías en el área prefrontal entre problemas bajo la teoría de la mentalidad y los problemas estándar. Concluyen, además, que los resultados proporcionan algunas de las primeras pruebas sobre la teoría matemática de la mentalidad y como esta aumenta la motivación y la actividad cerebral de los estudiantes que intentan resolver problemas matemáticos (Daly et al., 2019).

En cuanto al estudio del pensamiento divergente, Zhou, Hu, Sun, Li, Guo, y Zhao, (2019), establecen dos tipos de pensamiento: el pensamiento ecléctico y el pensamiento integrado que, de acuerdo a los autores, se evidencia en la forma en la que piensan los

ciudadanos chinos. Este estudio se realizó para investigar los efectos de las dos formas de pensamiento divergentes de Zhongyong en los niveles de desempeño para la prueba de Asociados Remotos (RAT), prueba que es utilizada para medir el pensamiento creativo.

Respecto a los hallazgos del anterior estudio, tanto los conductuales como los observados mediante el registro EEG, develaron que los participantes en la condición de pensamiento integrado obtuvieron puntajes en el RAT más altos que aquellos en el grupo de pensamiento ecléctico. De las conclusiones que proponen los autores se destacan que el RAT y las tareas de entrenamiento comparten el mismo mecanismo neuronal, situación que implica que las tareas de preparación de pensamiento integrado facilitaron a los participantes entrar por adelantado en un estado de preparación creativa, lo que repercutió aún más en los resultados obtenidos en la resolución del RAT (Zhou et al., 2019).

De los trabajos consultados se puede inferir que existe un creciente interés por incluir técnicas de neuroimagen en el estudio del pensamiento, el análisis interno de las estructuras cerebrales y la identificación de correlaciones entre los mecanismos que subyacen el aprendizaje. De los 12 estudios consultados se evidencia dos situaciones importantes: en primer lugar, el número de estudios asistidos por EEG versus fMRI, esta diferencia puede estar relacionada con las posibilidades en términos técnicos y de costos de cada una de las técnicas empleadas, en este tema se ahondará más adelante; en segundo lugar, se reconoce a Kevin Dunbar como un exponente reconocido en el campo del estudio del pensamiento científico y los procesos mentales subyacentes. Cabe agregar

que en la mayoría de sus investigaciones emplea fMRI y es citado constantemente como referente en este campo.

Por otro lado, es importante mencionar la revisión exploratoria de Orovas et al. (2025) sobre el estado actual de la investigación en neuroeducación con EEG. Aunque este estudio no cumple con los tres criterios de selección establecidos, aporta una visión general, valiosa, analizando tanto los diversos temas abordados en este tipo de investigaciones, como las características y consideraciones metodológicas más recurrentes en ellas. De la revisión, análisis y síntesis de la información de 26 proyectos relacionados con neuroeducación utilizando EEG y como marco de referencia las preguntas: ¿Cuáles son los aspectos metodológicos utilizados en los proyectos de investigación en neuroeducación (entornos experimentales, tamaño de muestra, hardware y software)? y ¿Qué se investiga en estos proyectos (sujeto de investigación e información extraída de las señales EEG)? Resultado de la revisión se destaca que dentro del uso de EEG en entornos educativos sobresalen temas clave, como:

- Evaluación de la eficacia de métodos de enseñanza y aprendizaje.
- Medición del rendimiento estudiantil.
- Estudio de la sincronización cerebral (hiperscanning) entre estudiantes o entre estudiantes e instructores.
- Generación de bases de datos públicas para investigación educativa.
- Comparación de diferencias entre grupos o factores como contexto, género o modalidad de aprendizaje (presencial vs. online; digital vs. papel).
- Investigación del aprendizaje por refuerzo y de habilidades cognitivas.

- Evaluación de la carga cognitiva y análisis de formas de pensamiento y razonamiento.
- Análisis metodológico del uso del EEG en contextos educativos reales, como aulas.
- De este mismo modo, Orovas et al. (2025), en sus hallazgos identificaron diversas características y consideraciones metodológicas comunes en los estudios tales como:
 - Los tamaños de muestra varían significativamente, con un promedio de 23.32 participantes. Predominan los estudios con tamaños pequeños (2–11 participantes) y medianos (22–31 participantes).
 - Aunque la mayoría de los estudios se realizan con adultos o estudiantes universitarios, seis de los 26 proyectos incluidos se enfocan en niños.
 - Se utilizan desde dispositivos portátiles de bajo costo hasta equipos de gama media y alta. Los dispositivos inalámbricos están ganando popularidad por su facilidad de uso en entornos educativos menos controlados.
 - Se emplean tanto herramientas propietarias como de código abierto, siendo EEGLAB una de las más utilizadas.
 - Existe una tendencia creciente hacia la realización de investigaciones en entornos educativos auténticos, aunque ello supone retos técnicos debido a la presencia de ruido y artefactos en las señales EEG.

- Las principales métricas EEG empleadas en los estudios incluyen:
Análisis de bandas de frecuencia: delta, theta, alpha, beta y gamma, siendo esta métrica la más común, especialmente en estudios con niños.
- Potenciales relacionados con eventos (ERPs): Se utilizan componentes como N170, N250, N400, P3/P300, MMN y RewP, aunque con menor frecuencia que el análisis de bandas.

4 Descripción, delimitación y formulación del problema

Con base en los argumentos expuestos en la justificación y en los hallazgos presentados en los antecedentes investigativos, se puede establecer que: a) no se encontraron investigaciones cuyo objeto de estudio sea establecer relaciones desde el punto de vista del funcionamiento cognitivo, entre el PC y el PT, b) tampoco se hallaron estudios que caractericen la actividad cortical del cerebro mientras se ejecutan actividades escolares de orden científico o tecnológico, situación que sugiere un parcial o total desconocimiento de la actividad cerebral que caracteriza cada uno de estos tipos de pensamiento. No se desconocen los estudios llevados a cabo por Kevin Dunbar ni sus aportes, sin embargo, estos no fueron llevados a cabo a nivel escolar.

Por otro lado, y como se planteó en el aparte de la justificación, El Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022, propone dar un salto cualitativo en la educación al asumir un enfoque más profundo en el estudio de la tecnología, el desarrollo del pensamiento tecnológico y computacional y otorgarle un papel más relevante en el desarrollo educativo y económico de la nación. En concordancia con este propósito y la visión progresista de la UE, la Unesco y el PND, es de esperarse que la escuela se transforme dando respuesta a dichos propósitos, pasando de currículos disciplinares, con un fuerte enfoque científico, a currículos y prácticas escolares más integrales y con mayor énfasis en la tecnología y en el PT (Maggio, 2018). Sin embargo, no es previsible que eso constituya una mejora real para la escuela y el progreso del país, pues no se reconocen diferencias significativas entre propiciar el PT sobre el tradicional PC.

Dado que se desconocen las relaciones que existen entre las intervenciones escolares que teóricamente pretenden el desarrollo tanto del PC como del PT y la actividad cerebral que propician, es complejo determinar si dichas intervenciones cumplen con el objetivo por el cual fueron llevadas al aula o si, por el contrario, están estimulando procesos ajenos a dichos pensamientos.

Si bien se asume, como lo señala Simon(1966), que tanto el PC como el PT comparten los mismo mecanismos cognitivos como cualquier otra tipo de actividad mental, en lugar de ser tipos de pensamiento completamente diferentes, pero se combinan en formas que son específicas para un aspecto particular (Dunbar y Klahr, 2012; Skekun, 1981), son justamente los mecanismos cognitivos que comparten, como sus combinaciones, las que se desconocen tanto para el PC como para el PT. En el caso del PC existen notables esfuerzos al respecto, sin embargo, para el PT el interés, de acuerdo a los antecedentes revisados, es menor.

En el marco de todo lo anterior, se puede señalar que no existe evidencia que permita establecer relaciones de similitud o diferencia entre el PT y el PC en torno a la actividad cerebral que propician en el contexto escolar. Así pues, en concordancia con el postulado de Dunbar y Klahr (2012), Fugelsang y Dunbar (2005) y Morrison y Knowlton (2012), y en función de establecer relaciones entre la ejecución de una determinada actividad escolar y la activación cortical que propician, se propone indagar en: ¿Cuáles son las relaciones de similitudes y diferencias que existen entre el pensamiento científico y el pensamiento tecnológico a partir del análisis y comparación cuantitativa de las señales encefalografías que se producen en los estudiantes de Ciclo 4 de educación al

resolver Actividades Científicas Escolares (ACE), Actividades Tecnológicas Escolares (ATE) y Actividades Tecno-científicas Escolares (ATCE)?

4.1 Objetivos

4.1.1 *General*

Caracterizar las relaciones (similitudes y diferencias) que hay entre el pensamiento científico y el pensamiento tecnológico a partir del análisis y comparación cuantitativa de las señales encefalografías que se producen en los estudiantes de Ciclo 4 de educación al resolver Actividades Científicas Escolares (ACE), Actividades Tecnológicas Escolares (ATE) y Actividades Tecno-científicas Escolares (ATCE).

4.1.2 *Objetivos Específicos*

- Describir el modo de funcionamiento cerebral del PC mediante QEEG de un grupo de estudiantes al resolver Actividades Científicas Escolares (ACE)
- Describir el modo de funcionamiento cerebral del PT mediante QEEG de un grupo de estudiantes al resolver Actividades Tecnológicas Escolares (ATE).
- Describir los modos de funcionamiento cerebral del PC y PT mediante QEEG de un grupo de estudiantes al resolver Actividades Tecno-científicas Escolares (ATCE).

- Analizar las similitudes y/o diferencias entre los modos de funcionamiento cerebral asociados al PC y al PT con base al análisis QEEG.

5 Marco Conceptual

En este capítulo se describe el marco conceptual que fundamenta el desarrollo del estudio planteado. Se inicia con la conceptualización de las relaciones, diferencias y similitudes, existentes entre la triada ciencia, técnica y tecnología en un marco mayoritariamente histórico. Posteriormente, se trabaja en las nociones sobre lo que es pensar científicamente y pensar tecnológicamente fundamentalmente desde dos perspectivas: la primera, relacionada con el pensamiento que involucra directamente los contenidos y, la segunda, relacionada con los procesos cognitivos involucrados. Para finalizar, se presentan los fundamentos generales sobre la electroencefalografía como técnica de registros y su aplicación en el estudio de procesos cognitivos mediante mapeo cerebral.

5.1 Ciencia, Técnica y Tecnología

En la actualidad hablar de ciencia y tecnología es hablar inevitablemente de tecnociencia, si bien el término fue acuñado inicialmente en 1983 por Bruno Latour con el fin de abreviar la frase de “ciencia y tecnología”, desde la década de los 50 la hibridación evolutiva entre estos dos campos ha dificultado cada vez más el poder hablar de una sin tener que referirse a la otra. Para muchos la convergencia entre ciencia y tecnología es tan profunda que ahora mismo todo es tecnociencia. Pero no siempre fue así, la ciencia, la técnica y la tecnología son conceptos íntimamente relacionados, pero su relación es compleja. Estos han estado ligados a espacios temporales y culturales donde su significado ha cambiado y muchas veces no ha permanecido en el tiempo, es así que “lo

que hoy entendemos por tecnología, y el papel que la técnica desempeña en las sociedades de nuestros días, es algo radicalmente diferente a lo que supuso en épocas anteriores” (Quintanilla, 2005, p.47).

5.1.1 *Concepciones sobre la Técnica*

Respecto a la técnica, Quintanilla (1998), la define como:

Un conjunto de habilidades y conocimientos que sirven para resolver problemas prácticos. Un tipo específico de técnicas son las técnicas productivas o de transformación y manipulación de objetos concretos para producir intencionadamente otros objetos, estados de cosas o procesos. Los resultados de la aplicación de estas técnicas productivas son lo que llamamos artefactos, algunos de los cuales, como las herramientas y máquinas, son a su vez instrumentos técnicos. Las técnicas en general, y en especial las técnicas productivas, constituyen pues una forma de conocimiento, de carácter práctico. (p. 50)

En este mismo sentido, González y Hernández (2000) señalan que la técnica es una forma de hacer las cosas independientemente del conocimiento científico. Chaquea y Chamorro (2013) consideran que la técnica está estrechamente asociada a la interpretación que hace el ser humano de las interacciones entre él y su entorno, interacción que implica una constante búsqueda de suplir necesidades emergentes de su propia existencia en el mundo.

De las variadas definiciones que pueden ser halladas en la literatura se pueden identificar fundamentalmente tres líneas en las que puede ser definido el concepto de técnica. La primera, se define a la técnica como el procedimiento o el conjunto de procedimientos que tienen como finalidad obtener un resultado determinado, en el campo de las artesanías, de la tecnología, de la ciencia, o de otra actividad; la segunda, la define como los procedimientos puestos en práctica al realizar una actividad como: fabricar algo, llevar a cabo una comparación, realizar un análisis, correr, conducir un vehículo, interpretar un instrumento, comercializar algo, etc. y, la tercera, la define como la pericia o capacidad que se evidencia cuando se lleva a cabo la actividad (Gay y Ferreras, 1997).

Por otro lado, desde una perspectiva antropológica, a los ojos del ser humano, todo el entorno que compone la naturaleza se manifiesta de forma hostil, pues ningún hábitat le es propio, en términos biológicos y antropomórficos (Chaquea y Chamorro, 2013) o en palabras de González y Hernández (2000, p.14) “el hombre es un animal incapaz de vivir naturalmente en cualquier lugar del planeta... el hombre no posee un entorno que le sea particular y específico a su especie”. Es así como el hombre está obligado, en un proceso de adaptación, a elaborar un ambiente artificial de su propiedad, a moldear el mundo mediante la transformación técnica y tecnológica del medio donde pretende vivir, a crearse una técnica con el fin de realizar y satisfacer sus necesidades de acuerdo a sus características orgánicas de animal precario (González y Hernández, 2000). Es esta precariedad la que condena al hombre a ser práxico a no poder vivir sin “inventar técnicas y tecnologías para así descargar-reemplazar y superar cada una de las partes que

faltan en su organismo o que simplemente no posee” (González y Hernández, 2000, p.11).

Cabe señalar, que la técnica se remonta en la antigüedad hasta el mismo origen del hombre y desde su aparición ha intentado transformar la naturaleza con el fin de satisfacer sus necesidades. En consecuencia, a lo anterior, se parte del hecho que la técnica surge mucho antes que la tecnología y, en general, se asume que no depende del conocimiento científico (Quintanilla, 2005), como de cierto modo si lo hace la tecnología. La técnica se halla presente en la gran mayoría de las actividades donde el hombre ha interactúa con su entorno y ha sido determinante en el desarrollo y sobrevivencia de la especie humana, con relevancia tal que “sin técnica, el hombre no existiría ni habría existido nunca” (Ortega y Gasset, 1982, como se citó en Romero y Chamorro, 2018, p.13).

A lo largo de la historia, la técnica ha evolucionado “a través de la experiencia y la destreza de sus ejecutores” (Romero y Chamorro, 2018, p.157) en consonancia con las necesidades en continuo cambio del hombre. La técnica ha construido su conocimiento desde el azar (a partir de este mismo ha evolucionado), la contingencia, la experiencia, el ensayo y el error. Es de resaltar que la construcción de este conocimiento técnico se haya enriquecido, en algunos contextos, por contenidos místicos y tradicionales propios del entorno cultural donde se pretendan los procesos técnicos (Chaquea y Chamorro 2013).

El tipo de conocimiento técnico mediado por la cultura, está relacionado con el conocimiento empírico asociado a modos de conocer diferentes a los que la ciencia emplea (González y Hernández, 2000). Dicho de otro modo, la técnica ha implicado en

algunos contextos, el empleo de etnoconocimientos que representan no solo otras formas de conocer si no también de hacer, incluye conocimientos comunes, destrezas artesanales, además, de elementos estéticos, ideológicos y filosóficos.

Resumiendo lo planteado, la técnica se caracteriza por:

- Basarse en un conocimiento empírico carente de justificación teórica. Este se estructura a través de saberes tradicionales o etnoconocimientos, que pueden variar de una sociedad a otra, o de un grupo social a otro, aun si ejecuta la misma técnica (Chaquea y Chamorro, 2013; Gay y Ferreras, 1997). Estos saberes son de orden práctico (Ladriere, 1977) y se rigen por el saber cómo producir tal o cual efecto deseado mediante el ensayo y el error, la experiencia y la pericia de quien lo aplica.
- No es exclusiva del hombre, se da en todo ser viviente y responde a una necesidad de supervivencia. Sin embargo, en los animales la técnica es de orden instintivo y propio de cada especie, a diferencia del ser humano, donde surge de forma consciente y reflexiva de su relación con el medio. Cabe destacar que la técnica en el contexto humano es creativa y no se limita solamente a reproducir procedimientos conocidos, también, indaga desde su práctica y desarrolla procedimientos nuevos (Gay y Ferreras, 1997).
- Está constituida de procedimientos prácticos que modifican y transforman la naturaleza, mediante la mano de obra del hombre como fuerza motriz para el uso de herramientas, como único intermediario entre él y su entorno. Dicha intervención tiene como objetivo la transformación consciente de la materia para la

fabricación de bienes o la disposición de servicios. Cuando dichos conjuntos de procedimientos satisfacen y excede las necesidades básicas del hombre, la técnica se traslada al orden cultural y junto con la tecnología, integran una parte de la cultura denominada cultura material (Gay y Ferreras, 1997; González y Hernández, 2000).

- Ha permitido el dominio del hombre por todo el globo, vivir en condiciones y en climas que su biología no le permitirían de no ser por la intervención de adaptaciones. Además, ha dado paso a que el hombre remplace su dotación biológica de origen por adaptaciones artificiales de remplazo o potencialización. (González y Hernández, 2000).

Para la presente tesis doctoral se entiende la técnica como el conjunto de procedimientos prácticos que tienen como objetivo la transformación de manera consciente de la materia para la fabricación de bienes o el suministro de servicios (Gay y Ferreras, 1997). Frente al conocimiento técnico se asume que “el eje fundamental de este es la experiencia previa acumulada, lograda a través del tanteo y de los éxitos y fracasos, experiencia que no puede ser comunicada en forma oral o escrita sino a través de la actividad misma” (Rodríguez, 1998, p.7).

5.1.2 *Concepciones sobre la Ciencia*

La OCDE (1995) , en su manual de Camberra, cuyo propósito fue proporcionar un marco de referencia para la sistematización de datos sobre los recursos humanos en ciencia y

tecnología, señala la notable dificultad que existe a la hora de definir el concepto de Ciencia, dificultad que se le atribuye a los diferentes puntos de vista que se tienen, en términos de extensión, y a su uso en los diversos campos del conocimiento que han surgido de motivaciones culturales y lingüísticas (OCDE, 1995).

Por otro lado, desde el contexto histórico, “la observación de la naturaleza y de los fenómenos naturales se remonta a los orígenes mismos del hombre”, (Gay y Ferreras, 1997, p.81) y “ surge cuando el hombre busca descubrir y conocer, por la observación y razonamiento, la estructura de la naturaleza” (Gay y Ferreras, 1997, p.80). Sin embargo, en cuanto a la concepción de ciencia, es posible ubicar dos periodos históricos. el primero antes de la aparición de la ciencia moderna y el segundo posterior a la aparición de esta. Con referencia al primero, en lo que respecta al hemisferio occidental, los primeros en desarrollar la ciencia de forma racional fueron los griegos, quienes se aproximaron principalmente a una ciencia pura de índole especulativo, orientada al conocimiento desinteresado (al saber, por el saber mismo) (Gay y Ferreras, 1997); en cuanto al segundo, la ciencia moderna, surge en la historia de la revolución científica de los siglos XVI – XVII, siendo Galileo Galilei, Francis Bacon, René Descartes, Isaac Newton, entre otros, quienes a partir de sus trabajos e ideas, establecieron los fundamentos de la ciencia como actualmente se conoce (Báez, 2019; Gay y Ferreras, 1997; González y Hernández, 2000).

Para el siglo XVII en Europa la comunidad científica tomó mayor relevancia, en siglos posteriores (XVIII y XIX) la ciencia ya era una actividad ampliamente respetada.

Cabe agregar que a finales de este periodo, las ciencias fueron trasladadas de las academias científicas a las universidades (González y Hernández, 2000).

Frente a que es la ciencia, definirla representa una tarea compleja en vista de que las definiciones de ciencia son diversas y abarcan un campo de actividades y conocimientos considerablemente amplio, una sola definición corre el riesgo de no cubrir de forma completa lo que significa (Gay y Ferreras, 1997; OCDE, 1995). Es así como cada definición que se propone desde los múltiples campos que abarcan la ciencia, representan un intento por lograr mayor o menor grado de precisión. Pese a dicha complejidad, se presentan a continuación (Tabla 1) algunas definiciones de ciencia, con el objeto de precisar sus características más relevantes.

Tabla 1
Diferentes Definiciones del Concepto de Ciencia.

Autor	Definición
La RAE	“conjunto de conocimientos obtenidos mediante la observación y el razonamiento, sistemáticamente estructurados y de los que se deducen principios y leyes generales con capacidad predictiva y comprobables experimentalmente”.
Babini, (1947)	“Un esfuerzo organizado que lleva a un conocimiento”.
Dampier, (1972)	“La ciencia es el conocimiento ordenado de los fenómenos naturales y de las relaciones que existen entre ellos”.
H. Ellis	“ La ciencia es la búsqueda de las relaciones de las cosas” (Báez, 2019)
Poincaré, (1905)	“no es conocer las cosas en sí mismas, , sino las relaciones entre las cosas”
Riemann, (Báez, 2019)	“La ciencia natural es el intento de comprender la naturaleza por medio de conceptos exactos”
Singer (Báez, 2019)	“La ciencia es el proceso que hace el conocimiento”.
Bunge (1977)	“La ciencia puede caracterizarse como un conocimiento racional, sistemático, exacto, verificable y por consiguiente falible. Por medio de la investigación

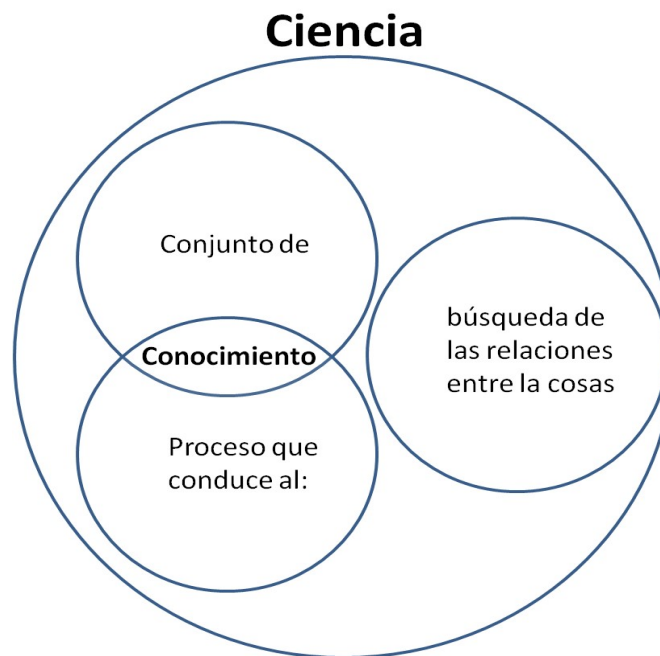
Autor	Definición
Romo-Saltos (1984)	científica, el hombre ha alcanzado una reconstrucción conceptual del mundo que es cada vez más amplia, profunda y exacta”
Tamayo y Tamayo (1994)	“La ciencia es la actividad organizada del hombre para comprender el mundo que le rodea”.
Gay y Ferreras, (1997)	“Conjunto de conocimientos racionales, ciertos y probables obtenidos metódicamente, sistematizados y verificables que hacen referencia a objetos de una misma naturaleza”.
Hernández et al., (1997)	“es algo más que la mera observación, es ... razonamiento, y nace cuando se abandona una concepción mítica de la realidad y se enfoca la misma con una visión objetiva y reflexiva”
Chaquea y Chamorro 2013, p. 158).	“es un conocimiento sistemático, controlado, empírico y crítico de proposiciones hipotéticas sobre las presumidas relaciones entre fenómenos naturales”.
Chaquea y Chamorro 2013, p. 158).	“cúmulo de conocimiento principalmente sistemático y general”

Nota. Elaboración propia

Con base en las definiciones propuestas en la Tabla 1, pueden identificarse tres categorías de definiciones que allí se presentan. La primera categoría se refiere a aquellas que definen a la ciencia como un conjunto de conocimientos, la segunda categoría se refiere a aquellas que definen la ciencia como el proceso que conduce al conocimiento y la tercera categoría se refiere a aquellas que definen la ciencia como la búsqueda de las relaciones entre las cosas.

Figura 1

Categorización las definiciones del concepto de ciencia.



Nota. Elaboración propia.

Es de resaltar que la anterior organización no sugiere que uno u otro tipo de definición sea más correcto que los demás, sin embargo, es de forma conjunta como brindan una visión general de lo que puede entenderse como ciencia. Al respecto Báez (2021) señala que:

La ciencia es un cuerpo de conocimientos y a la vez también un proceso que conduce al conocimiento; pues, el conocimiento científico actual es un producto social e histórico elaborado por hombres y mujeres preparados en diferentes ámbitos del saber y que emplean procesos ordenados con el propósito de generar nuevos conocimientos y establecer relaciones lógicas entre ellos (p.21).

Por otra parte, Bunge (1977), en reflexiones anteriores, señalaba frente a este conocimiento, que este es de orden fáctico, trascendente, claro y preciso, analítico, sistemático, especializado, comunicable, verificable, metódico, explicativo, predictivo, general, legal, útil y abierto.

En cuanto al mismo, Romo-Saltos (1984), plantea que:

....está constituido de hechos y principios firmemente establecidos y aceptados por la gran mayoría de las personas que forman la comunidad científica... no es únicamente la suma de todas las observaciones, lectura de instrumentos, o de datos que se acumulan en el curso de la experimentación. Todo este agregado de información que debe ser reproducible y confiable sería totalmente incomprensible si no fuera por el concurso de ciertos principios de ordenación que se recogen en las hipótesis y teorías que son la parte esencial del contenido cognoscitivo de la Ciencia (p.45).

De lo expuesto en este apartado, para la presente tesis doctoral se asume que la ciencia surge de la necesidad que tiene el hombre de conocer y comprender de forma racional el mundo que lo rodea y los fenómenos que se manifiestan en él (Gay y Ferreras, 1997). La ciencia constituye un cuerpo de conocimientos y al mismo tiempo un conjunto de procesos que conducen al conocimiento (Báez, 2021), su propósito es de orden explicativo y su objeto de estudio es el conocimiento de las cosas por sus principios y causas. Respecto al conocimiento científico, este se caracteriza por ser fáctico, trascendente,

claro y preciso, analítico, sistemático, especializado, comunicable, verificable, metódico, explicativo, predictivo, general, legal, útil y abierto (Bunge, 1959).

Es importante resaltar, que la anterior postura frente la ciencia, pretende establecer un marco de referencia para la investigación aquí se desarrolla y no se busca de ninguna forma asumir una perspectiva reduccionista frente a esta. Así mismo no se desconoce reflexiones como las de Chalmers (2000), quien percibe a la "ciencia" no como una categoría homogénea y definible por un conjunto universal de reglas, sino como un conjunto de prácticas y cuerpos de conocimiento diversos que deben ser evaluados contextualmente según sus propios fines y resultados.

Tampoco se desconoce el papel social del científico en la producción del conocimiento que plantea Bunge (1999) o la propuesta frente a que la ciencia surge como respuesta a anomalías que los paradigmas existentes no pueden resolver y no por una necesidad humana inmediata, como lo señala Kuhn (1962).

5.1.3 *Concepciones sobre la Tecnología*

Tecnología, o técnica moderna, según Rodríguez (1998)., “es un término polisémico y con múltiples interpretaciones. Su uso cotidiano y corriente es tal, que se ha llegado a su intercambiabilidad con los términos técnica y ciencia” (p. 6). Desde un contexto histórico la palabra tecnología data del siglo XVIII, cuando la técnica, que históricamente se considera empírica, comienza a relacionarse con la ciencia y los métodos de producción inician su sistematización (Gay y Ferreras, 1997).

Pese al carácter polisémico que pueda tener el concepto de tecnología, a continuación (Tabla 2) se presentan algunas de las definiciones que se le atribuyen, con el fin de establecer una postura general frente al mismo.

Tabla 2
Definiciones del Concepto de Tecnología.

Autor	Definición
Bunge (1959)	“el desarrollo de la actividad científica aplicada al mejoramiento de nuestro medio natural y artificial, a la invención y manufactura de bienes materiales y culturales” (p.6)
Bunge (1985a)	“campo de conocimiento relativo al proyecto de artefactos y la planificación de su realización, operación, ajuste, manutención y monitorización, a la luz de conocimiento científico” (p. 231).
Bunge (2002)	“Es un Cuerpo de conocimiento ... se lo emplea para controlar, transformar o crear cosas o procesos, naturales o sociales” (p.190)
Cárdenas (2002)	“la suma de conocimientos de los medios y de los métodos destinados a producir bienes y servicios” (p. 446).
OCDE	"el uso del conocimiento, ... consiste en la utilización de herramientas y técnicas para realizar los planes y lograr los objetivos deseados”(p.16).
Guía 30	Actividad humana que “busca resolver problemas y satisfacer necesidades individuales y sociales, transformando el entorno y la naturaleza mediante la utilización racional, crítica y creativa de recursos y conocimientos” (p.5).
(Rodríguez, 1998)	“Conjunto de saberes inherentes al diseño y concepción de los instrumentos (artefactos, sistemas, procesos y ambientes) creados por el hombre a través de su historia para satisfacer sus necesidades y requerimientos personales y colectivos” (p.7).
Martínez (1993)	Técnica (tekné o Techné) sanscrito y luego griego, palabra que significa “Manual; hacer con las manos”, tanto referido al arte como al conocimiento práctico y riguroso. Se le define como el conjunto de procedimientos de un arte, ciencia o trabajo, habilidad para usar esos procedimientos, que se propone controlar ciertos sectores escogidos de la realidad con ayuda de conocimientos de todo tipo, incluyendo el científico” (p.13).
Sábato y Mackenzie (1982)	“Es el conjunto ordenado de todos los conocimientos usados en la producción, distribución (a través del comercio o de cualquier otro método) y uso de bienes y servicios. Por lo tanto, cubre no solamente el conocimiento científico y tecnológico obteniendo por investigación y desarrollo, sino también el derivado de experiencias empíricas, la tradición, habilidades manuales, intuiciones, copia, adaptación, etc.” (p.35).

Autor	Definición
Neyes, 1985	“La Tecnología es una rama del saber, constituida por el conjunto de conocimientos y de competencias necesarias en la utilización, mejora y creación de las técnicas. Y una Técnica, está compuesta por el conjunto de operaciones que deben ser efectivamente realizadas para la fabricación de un bien dado” (p.18).
Galbrait, (1984)	“Tecnología significa aplicación sistemática del conocimiento científico (u otro conocimiento organizado) a tareas prácticas. Su consecuencia más importante es una función de la división y subdivisión de cada una de esas tareas en partes o fases componentes”.
Simpson (1995)	se refiere a ese cuerpo acumulativo de conocimientos, destrezas, estrategias e instrumentos que, utilizando teoría o método científico, ... ofrece una guía en la selección de cursos de acción apropiados para la realización de un fin determinado o para la solución de un problema determinado, y más aún, coloca a nuestra disposición los medios para esta realización” (p17)
Ferre (1995)	Implementación práctica de la inteligencia (p.26)
Liz (1995)	Actividades o sistemas de acciones socialmente estructuradas ... sumamente integradas en los procesos productivos industriales y estrechamente vinculadas al conocimiento científico. (p. 25)

Nota. Elaboración propia

En el marco de las definiciones propuestas, y desde una visión general, se rescatan siete (7) formas en las que es definido el concepto de tecnología:

- Como un factor determinante en el logro o no de metas y fines de orden social, cultural y económico (Rodríguez, 1998)
- Como ciencia aplicada, es decir, aplicación del conocimiento científico a fines prácticos con particular referencia a los numerosos procedimientos necesarios para la transformación de la naturaleza en servicios y productos de uso o de consumo (Rodríguez, 1998).

- Como conocimiento y uso del mismo que tiene como objetivo satisfacer deseos, solucionar problemas y suplir necesidades mediante la *acción* sobre objetivos físicos.
- Como el proceso o curso de acción que determinan el método, la forma, el cómo y el por qué se hacen las cosas
- Como propósito, delimitándola en torno a un intento racional y ordenado de transformar y controlar la naturaleza por parte del hombre.
- Como componente creativo del proceso de producción de objetos tangibles resultado de la transformación de las materias primas.
- Como del hecho cultural, social e histórico básico de la especie humana.

De las anteriores definiciones es de resaltar que una de las que mayor discusión presenta, es la que se refiere a la tecnología como ciencia aplicada. Al respecto Rodríguez (1998), señala que “la producción de un artefacto (el objeto físico tridimensional) es el resultado de la creatividad y del esfuerzo intelectual humano, e involucra conocimientos y saberes no supeditados a la existencia previa de un argumento científico” (p. 4).

Por su parte, Cárdenas (como se citó en Centro de Estudios Sociales y de Opinión Pública, 2006) aclara que la tecnología no es sinónimo de ciencia aplicada, por un lado, porque en algunos casos la tecnología es anterior a la ciencia (específicamente tecnología antigua es decir técnica) y, en muchos otros, la tecnología se origina sin un conocimiento científico previo y preciso, del cómo y del por qué funcionan los procesos o se presentan los fenómenos con resultados específicos.

Al respecto Gay y Ferreras (1997) indican que:

Es bastante corriente confundir tecnología con ciencia aplicada, pero es un error, la tecnología no es solamente ciencia aplicada, pues si bien es cierto que se basa en conocimientos científicos, se basa también en la experiencia, utiliza muchas veces conocimientos empíricos y tiene en cuenta, además, muchos otros factores (algunos ajenos a la específica aplicación de determinados conocimientos científicos). (p.88)

En función de lo hasta aquí expuesto en este aparte, para la presente tesis doctoral se reconoce una fuerte relación entre ciencia y tecnología (aspecto que se tratara en el siguiente apartado) pero se desestima la concepción de la tecnología como ciencia aplicada. Respecto a los atributos que se pueden identificar en la tecnología, Ellul (2003 como se citó en Hernández, 2020) identifica siete: racionalidad, artificialidad, automatismo, aut crecimiento, indivisibilidad, universalismo y autonomía.

Por otro lado, Gay y Ferreras (1997), indican que, respecto a los métodos de producción utilizados, la tecnología puede ser clasificada en dos grandes ramas: las tecnologías duras y las tecnologías blandas. Las primeras tienen como propósito la transformación de elementos materiales con el fin de producir bienes y servicios. De estas pueden identificarse dos grupos importantes: “las que producen objetos con base en acciones físicas sobre la materia y las que basan su acción en procesos químicos y/o biológicos” (Gay y Ferreras, 1997, p. 84).

Frente a las segundas, también llamadas gestiónales, “se ocupan de la transformación de elementos simbólicos en bienes y servicios” (Gay y Ferreras, 1997, p. 84). Su producto no es un objeto tangible y se caracteriza por facilitar el funcionamiento de las organizaciones e instituciones en el alcance de sus objetivos (Gay y Ferreras, 1997).

En cuanto al conocimiento que procura la tecnología (conocimiento tecnológico), este se caracteriza por “ser específico para una determinada tarea ” (Cupani, 2006) y estar familiarizado con elementos, dispositivos, procedimientos y equipos (Cupani, 2006) , por ser reflexivo, prescriptivo (Vincenti, 1990), histórico, cultural y de naturaleza práctica (Gay y Ferreras, 1997), por ser creativo (Gay y Ferreras, 1997) y orientarse “ a la producción de algo nuevo y no al descubrimiento de algo existente ... , por demandar una relación teoría- práctica indisoluble”(Cupani, 2006, p. 356), por la acumulación constante de información que posibilita nuevas formas, técnicas y resultados (Cupani, 2006), por exigir datos relativos a requerimientos culturales, técnicos y/o económicos (Vincenti, 1990, p. 216) y por desarrollarse en el contexto de lo artificial en aspectos concernientes a la factibilidad, la confiabilidad y la eficiencia, a la relación entre el costo y el beneficio (Cupani, 2006), entre otros aspectos no menos importantes.

Cabe agregar que la tecnología “abarca todos los medios de que dispone el hombre para controlar y transformar su entorno físico, así como para convertir los materiales que le ofrece la naturaleza en elementos capaces de satisfacer sus necesidades” (Gay y Ferreras, 1997).

Por otro lado, desde una perspectiva crítica filosófica y social, Feenberg (1999), sugiere que la tecnología es susceptible de ser moldeada o reformada por la anunciación humana y social, en lugar de ser una fuerza autónoma que determina el futuro. Por su parte, desde un enfoque crítica cultural, Ihde (2017), señala que la tecnología transforma la experiencia y la percepción humana a través de relaciones específicas, identificando diferentes estructuras relacionales como la incorporación, la hermenéutica y la alteridad, mostrando de este modo que las tecnologías no son neutras, sino que alteran fundamentalmente la forma en que se experimenta, percibe y se actúa en el mundo.

Ihde (2017), enfatiza también, en el fenómeno de "multiestabilidad" donde las tecnologías están profundamente enraizadas en contextos culturales pudiendo ser incorporadas y entendidas de manera diferente por distintas culturas. Desde una postura fenomenología de la experiencia, Postman (1992), afirma que, cada tecnología contiene un sesgo ideológico inherente, una predisposición a construir el mundo de una manera determinada, a valorar una cosa sobre otra, a amplificar un sentido, habilidad o actitud sobre otro. Señala además que:

- las nuevas tecnologías cambian lo que se entiende por "saber" y "verdad", alterando de esta manera hábitos de pensamiento profundamente arraigados que dan sentido a la cultura sobre lo que es real, razonable, necesario o inevitable.
- la introducción de una nueva tecnología no es meramente aditiva o sustractiva; es ecológica, lo que significa que un cambio significativo genera un cambio total en el entorno cultural.

Postman (1992), Feenberg (1999) e Ihde (2017) coinciden en una concepción de la tecnología que trasciende su neutralidad instrumental. Estos autores la entienden como una fuerza compleja y poderosa, intrínsecamente vinculada a la sociedad y la cultura, capaz de transformar activamente la experiencia, la percepción y las prácticas humanas. Sin embargo, su enfoque no adopta un determinismo rígido: tanto el contexto social como la agencia humana desempeñan un papel fundamental en la configuración de sus trayectorias y significados.

En el marco de lo hasta aquí expuesto, para la presente tesis doctoral se asume la postura propuesta por Gay y Ferreras (1997), que recoge la mayoría de los elementos que presentan los diferentes autores arriba expuestos.

Gay y Ferreras (1997) definen la tecnología como:

Conjunto ordenado de conocimientos, y los correspondientes procesos que tienen como objetivo la producción de bienes y servicios, teniendo en cuenta la técnica, la ciencia y los aspectos económicos, sociales y culturales involucrados; el término se hace extensivo a los productos (si los hubiera) resultantes de esos procesos, los que deben responder a problemas, necesidades y/o deseos de la sociedad y, como ambición, contribuir a mejorar la calidad de vida (p.83).

5.2 Relaciones entre ciencia, técnica y tecnología

5.2.1 *Técnica y tecnología*

En la antigüedad, la técnica, como era llamada “techne”, hacía referencia no solo al origen de este arte, sino también a la habilidad para el hacer y el saber-hacer del obrero manual (MEN, 2008). Es de resaltar que la técnica como el saber-hacer, surge en forma empírica y/o artesanal. Por su lado, la tecnología, involucra conocimiento, o “logos”, dicho de otra manera, responde al saber cómo hacer y al por qué y, en virtud de esto, la tecnología está más ligada con la ciencia (MEN, 2008).

Por otro lado, la técnica y la tecnología implican conocimientos diferentes. En la técnica el eje fundamental es la previa experiencia acumulada, que es lograda mediante el éxito, la prueba y el error, experiencia que, por cierto, es transferida mediante la actividad misma, ya que no puede ser transmitida de forma oral o escrita. La técnica como manifestación de conocimiento empírico, es más de carácter experimental que práctico instrumental (Rodríguez, 1998).

Por su parte, el conocimiento tecnológico, fundamenta su actividad a través de su naturaleza reflexiva, cualidad que le brinda una base argumentativa que posibilita su explicación (Rodríguez, 1998). Es de resaltar, además, que el conocimiento tecnológico, exige una “relación teoría- práctica indisoluble” (Rodríguez, 1998, p. 8), interdisciplinaridad, transformación constante y acumulación permanente de información a favor de nuevas formas, técnicas y resultados.

Frente a lo anterior, entre técnica y tecnología puede establecerse más relaciones constitutivas que aspectos que las diferencien. Desde un marco general, podría

considerarse que una es la evolución de la otra. En este sentido algunos autores asumen uno de los dos términos para referirse a ambos conceptos, por ejemplo Hernández (2020), se refieren a la tecnología como técnica moderna y a la técnica como técnica antigua (desde la misma connotación temporal que tiene la ciencia moderna). Por otro lado autores como Simpson (1995), consideran que la técnica podría considerarse como tecnología antigua y en este orden de ideas los desarrollos actuales en el campo los denomina como tecnología moderna.

En el marco de constantes transformaciones, producto de nuevos conocimientos y nuevas necesidades, se asume en el presente estudio que la técnica y la tecnología se consideran mutuamente constitutivas, que la tecnología surge cuando la técnica se vuelve más abstracta y establece interacciones causales con la ciencia moderna

5.2.2 Ciencia y tecnología

Frente a las relaciones que pueden identificarse entre ciencia y tecnología, Niiniluoto (2013), señala cinco diferentes posiciones:

- La tecnología es reducible a la ciencia, o la tecnología depende ontológicamente de la ciencia
- La ciencia es reducible a la tecnología, o la ciencia depende ontológicamente de la tecnología
- La ciencia y la tecnología son idénticas
- La ciencia y la tecnología son independientes ontológicamente y causalmente

- La ciencia y la tecnología son independientes ontológicamente, pero están en interacción causal

Al respecto, Hernández (2020), en un análisis de cada una de las posiciones planteadas por Niiniluoto (2013) señala, frente a la última, que es la posición más pertinente respecto a las relaciones que pueden identificarse entre ciencia y tecnología, dada su correspondencia con la perspectiva sistemática de la tecnología (producto de su complejidad) que proponen autores como Mumford (1994), Ellul (2003), Jonás (1997) y Ladrier (1977) entre otros (como se citaron en Hernández, 2020), agrega además Hernández (2020) , que

...entre ciencia y técnica ocurren múltiples interacciones e influencias mutuas, aunque se pueden seguir sosteniendo la diferencia entre ciencia y técnica aún en lugares en los que ambas participan del mismo proyecto de investigación pertenecen a la misma institución o son parte los objetivos del investigador industrial. (p.85)

En este mismo sentido, Mumford (1994), Ellul(2003), Jonás (1997) y Ladrier (1977) (como se citaron en Hernández, 2020) coinciden en afirmar que una de los elementos con mayor relevancia a la hora de caracterizar la tecnología “es la relación que establece con la ciencia moderna” (Hernández, 2020,p. 57), sostienen, además, que entre la ciencia y la tecnología suceden variadas influencias e interacciones recíprocas sin que eso represente la pérdida de identidad de cada una de ellas (Hernández, 2020) .

Por otro lado, algunos autores coinciden (Centro de Estudios Sociales y de Opinión Pública, 2006; Gay y Ferreras, 1997; MEN, 2008; Niiniluoto, 2013; G. Rodríguez, 1998) que entre los aspectos que pueden seguir sosteniendo la diferencia entre ciencia y tecnología se destacan los presentados en la Tabla 3.

Tabla 3
Diferencias entre Ciencia y Tecnología.

Aspecto	Ciencia	Tecnología
Surge a partir de	Problemas cognoscitivos	la solución a problemas prácticos y cognitivos
Enfoque	Inquisidora	Constructiva
¿Qué es?	Es un estudio o una metodología	Es un cuerpo de conocimientos que se sustenta en conocimiento científicos en la solución de problemas prácticos
Se orienta por	Conocimiento	Necesidades
Rol	Predicción científica, pasivo	Previsión tecnológica , activo
Propósito	Explicación	Producción
Busca	Verdad	Eficiencia
propone	Descubrir, demostrar y explicar leyes (naturales o sociales) para comprender toda la realidad	Establecer normas o utilizar y ampliar (pero no profundizar) el conocimiento para controlar ciertos sectores escogidos de la realidad
Interés	Lo natural	Lo artificial
Trabaja con	Variables intermedias	Variables externas
Contrasta	Hipótesis	Eficiencia de reglas y normas

Aspecto	Ciencia	Tecnología
¿Qué hace?	Contrasta teorías	Utiliza teorías
Soluciona	Interrogantes	Problemas prácticos
Problemas	Problemas fuertemente estructurados	Problemas débilmente estructurados
Método empleado	Científico (único aceptado como legítimo)	Cualquiera que le proporcione éxito (legitimidad supeditada al éxito)
Proceso	Analítico	Sintético
Procedimiento	Simplificación del fenómeno	Aceptar la complejidad de la necesidad
Producto generado	Nuevo conocimiento como producto del análisis, conocimientos generalizables , publicable (documento), de orden público	Nuevo objeto y/o conocimiento tecnológico como producto de la síntesis, objeto particular, conocimiento técnico y patentable, bien comercializable de orden privado
Éxito	Objetividad / salirse de la investigación	Subjetividad / posibilidad de controlar y dirigir el proceso de acción
Herramienta para fundamentar conocimientos	Fórmulas legaliformes	Fórmulas mono pragmáticas
Avance	Con el descubrimiento de hechos o leyes que explican los fenómenos	Mediante la invención o la innovación en el campo de los objetos, productos o procesos.

Nota. Construida con base a Gay y Ferreras, 1997; González y Hernández, 2000; G. Rodríguez, 1998

En términos generales, para el presente estudio, se asume la postura propuesta por Niiniluoto (2013), que hace referencia a que la ciencia y la tecnología son independientes

ontológicamente, pero están en interacción causal. Frente a la relación entre técnica y tecnología, se asume que pueden establecerse más relaciones constitutivas que aspectos que las diferencien.

Finalmente, a modo de conclusión de este apartado, se comparte la postura que presenta Hernández (2020) quien señala, frente a las relaciones entre ciencia, técnica y tecnología que:

Históricamente, las interrelaciones entre ciencia y técnica han venido creciendo hasta volverse más intensas en nuestra época. Así, podemos constatar cómo en el caso de la técnica sus prácticas y sus inventos proporcionan nuevos instrumentos para la investigación; crean teorías, áreas y disciplinas nuevas para las investigaciones.; suministran conceptos y modelos que sirven de metáforas o conceptos teóricos en diversas áreas de la ciencia; por último, al impulsar el crecimiento económico, la técnica moderna impulsa, indirectamente el progreso de la ciencia. Al mismo tiempo, la ciencia influye en los ciclos de innovación de la técnica moderna; ayuda a explicar el funcionamiento de los artefactos; e influye en la formación de los ingenieros y técnicos. (p.85)

5.3 ¿Qué es el Pensamiento?

El pensamiento es una actividad central y forma parte del sustrato que define a la especie humana. Uno de los primeros aspectos a considerar antes de revisar diferentes definiciones sobre el pensamiento es que, aunque el pensamiento es una función clave para la definición de la identidad del ser humano, no es una actividad exclusiva de este y

ya hace tiempo que se reconocen en otras especies animales actividades que encuadran bajo una u otra definición de pensamiento (Holyoak y Morrison, 2012).

Frente al concepto de pensamiento, Bourne, Ekstrand y Dominowski (1971) señalan que:

Es uno de esos conceptos misteriosos que todos entienden y ninguno puede explicar. Cuando más lo estudiamos más oscuro parece. Conocemos la palabra pensamiento, que pertenece a nuestro discurso diario. Conforme crecemos aprendemos a usar con propiedad este término para referirnos a la conducta de los demás y a la nuestra propia. Visto de esta manera, no hay nada especialmente difícil o incierto acerca del significado del pensamiento; pero pensamiento es también, para los psicólogos, un concepto científico, un objeto de investigación y teorización. (p.15).

Por su parte, Mayer (1983) define el pensamiento como: “manipulación de la información percibida, aprendida y recordada... es, pues, un componente de la psicología experimental; aun cuando el foco principal se centra en un proceso cognitivo complejo, el pensamiento depende y es parte de procesos más simples” (p. 8).

En este mismo sentido De Vega (1990) plantea que:

El pensamiento es una actividad mental no rutinaria que requiere esfuerzo. Ocurre siempre que nos enfrentamos a una situación o tarea en la que nos sentimos inclinados a hallar una meta u objetivo, aunque existe incertidumbre sobre el modo de hacerlo. En estas situaciones razonamos, resolvemos problemas, o de modo más general pensamos. El pensamiento implica una actividad global del

sistema cognitivo, con intervención de los mecanismos de memoria, la atención, las representaciones o los procesos de comprensión; pero no es reductible a éstos. Se trata de un proceso mental de alto nivel que se asienta en procesos más básicos pero incluye elementos funcionales adicionales, como estrategias, reglas y heurísticos. (p. 439)

Por su parte, Holyoak y Morrison (2012) lo definen como: la transformación sistemática de representaciones mentales de conocimiento para caracterizar estados del mundo, reales o posibles, frecuentemente al servicio de alcanzar metas. Con base en esta definición Aguirre y Moreira (2015) señalan que:

El pensamiento trabaja sobre representaciones y construye nuevas representaciones, por esto se puede afirmar que el término pensamiento refiere por una parte a los productos de la actividad mental (que aquí mencionamos como representaciones) y por otra a los procesos a través de los cuales la mente construye y manipula esas representaciones. Estos procesos no son azarosos, siguen pautas específicas y responden a ciertas restricciones. También se desprende de esta definición que el pensamiento tiene una función adaptativa, es una actividad que permite a quien la despliega alcanzar objetivos en el mundo, lo que ha llevado a algunos autores a afirmar que tiene una función adaptativa desde el punto de vista biológico (p. 148).

En este mismo sentido 吳建光 (en adelante Wu) (2006) señala que “Pensar” es una actividad mental del cerebro que está relacionada con la reflexión indirecta y general

del cerebro sobre las cosas objetivas. Agrega que para la humanidad herramientas como el lenguaje (pensamiento abstracto) y las imágenes (pensamiento de imágenes) son absolutamente necesarias para proceder con el pensamiento. Wu (2006), sostiene, además, que los humanos han estado pensando a través del lenguaje y las imágenes y, al mismo tiempo, escribiendo y expresando los resultados de las actividades de pensamiento a través de estos dos medios.

En una revisión detallada respecto al concepto de pensamiento que incluye diccionarios, definiciones académicas e institucionales (Seung-Kwon, 2010), señala que pueden ser identificados tres factores comunes respecto al concepto de pensamiento: el primero, es un factor situacional para que los humanos se adapten a un entorno dado; el segundo, es un factor intencional humano y, el tercero, es un factor de la actividad mental humana. Combinando esto tres factores Seung-Kwon (2010), define el pensamiento como la actividad mental intencional de un ser humano para actuar en respuesta a una situación dada.

Con base en lo anteriormente expuesto, para el presente estudio se asume el concepto de pensamiento como la actividad mental intencional (en diferentes niveles) de un ser humano basada en la inteligencia (procesos y componentes) y la experiencia, para actuar en respuesta a una situación dada (Edelman, 1992; Sternberg, 1997; Hund, 1997; Seung-Kwon, 2010). Además, se considera que el pensamiento es una actividad que se encuentra estrechamente ligada al contexto, a la situación que la produce y que, en general, se lleva a cabo en colaboración con otros en el marco de metas y actividades cotidianas (Furman, 2016).

5.3.1 *Pensamiento Científico*

Dunbar y Klahr (2012), producto de su indagación en la literatura sobre el pensamiento científico, ubican dos tipos de pensamiento a los cuales se les asigna la categoría de científico: el primero se centra el pensamiento científico que involucra directamente contenido científico, al participar en actividades científicas comunes como, por ejemplo, se manifiesta cuando se razona sobre conceptos y procesos tales como fuerza, masa, energía, equilibrio, magnetismo, átomos, fotosíntesis, radiación, geología o astrofísica. Este tipo de pensamiento científico abarca un rango que comprende, desde el estudio del razonamiento de los niños pequeños mientras desarrollan actividades de ciencias en el salón de clase, hasta investigaciones que se llevan a cabo de forma colaborativa para solucionar problemas complejos en laboratorios de todo el mundo (Dunbar y Klahr, 2012).

El segundo tipo, y el de mayor interés para este estudio doctoral, se centra en los procesos cognitivos "generales", como los de razonamiento, que impregnan el campo de la ciencia, tales como: inducción, deducción, diseño experimental, razonamiento causal, formación de conceptos, prueba de hipótesis, etc. Este tipo de pensamiento científico se ha enfocado fundamentalmente en el análisis de la conducta cuando las personas buscan solucionar problemas en situaciones relativamente complejas, que involucran la integración y coordinación de procesos de diferente tipo y que están diseñados para evidenciar algunas características esenciales de la ciencia del "mundo real" (Dunbar y Klahr, 2012).

Desde un enfoque psicológico, el pensamiento científico es un término general que engloba las habilidades de razonamiento y de resolución de problemas involucradas en la generación, prueba y revisión de hipótesis o teorías. En el caso de las habilidades completamente desarrolladas, este integra procesos metacognitivos para reflexionar sobre el proceso de adquisición y cambio de conocimiento (Koslowski, 1996; Kuhn y Franklin, 2006; Wilkening y Sodian, 2005; Zimmerman, 2007; Zimmerman y Croker, 2014). Es un tipo específico de búsqueda intencional de información que implica anticipar y que resulta en un interés por adquirir conocimiento motivado por la curiosidad (Zimmerman, 2007; Zimmerman y Croker, 2014). En este mismo sentido Kuhn (2005) señala que el PC es la búsqueda del conocimiento como coordinación intencional de la teoría y la evidencia.

Frente al estudio del PC, tanto el PC cotidiano como los procesos cognitivos que subyacentes al descubrimiento científico, han sido temas de intenso análisis y especulación durante casi 400 años, por parte de filósofos y científicos quienes no solo debatieron enérgicamente sobre los métodos apropiados que los científicos deberían utilizar sino que también buscaron comprender la naturaleza del pensamiento científico no solo para la comprensión de la ciencia, sino también para la comprensión de lo que significa ser humano (Dunbar y Klahr, 2012; Fugelsang y Dunbar, 2005). Estos debates sobre los métodos apropiados para la ciencia generalmente dieron como resultado la adopción de un tipo particular de método de razonamiento, como la inducción o la deducción.

A continuación (Tabla 4) se presenta un breve recorrido histórico acerca de los principales enfoques que se han utilizado para investigar el PC.

Tabla 4

Principales Antecedentes del estudio del PC.

Año	Antecedente
1620	Bacón en el Novumm Organum esbozó algunas de las características clave de las formas en que se diseñan los experimentos y se interpretan los datos.
1940 - 1950	Psicólogos de la Gestalt comenzaron a trabajar en la naturaleza de la resolución de problemas humanos. Los psicólogos experimentales de la Gestalt comenzaron a investigar los procesos cognitivos subyacentes al pensamiento y el razonamiento científicos. El psicólogo Max Wertheimer fue pionero en la investigación del pensamiento científico del primer tipo, el, orientado al contenido científico). En su libro <i>Pensamiento productivo</i> donde mediante continua correspondencia con Albert Einstein, intentando, de esta forma, descubrir cómo Einstein generó el concepto de relatividad.
1956	Bruner, Goodnow y Austin presentan una de las primeras investigaciones del pensamiento científico orientada al estudio de las colecciones de procesos de propósito general que operan en componentes complejos y abstractos del pensamiento científico (del segundo tipo descrito anteriormente). Aunque su estudio es comúnmente considerado un trabajo acerca de los conceptos, por medio de este descubrieron un componente fundamental del pensamiento científico.
De los aportes hechos por Bruner, Goodnow y Austin en el estudio del PC se destacan:	
Argumentaron que una actividad fundamental en la que participan los científicos es determinar si una instancia en particular es miembro de una categoría y se centraron en los diferentes tipos de estrategias que las personas utilizan para formular hipótesis,	
Estudiaron el PC como la prueba de hipótesis y la recopilación de datos con el objetivo final de determinar si algo es miembro de una categoría	
Inventaron un paradigma en el que se requería que las personas formularan hipótesis y recopilaran datos que prueben sus hipótesis	
Identificaron una serie de estrategias que la gente usa para formular y probar hipótesis. Descubrieron que un factor clave que determina qué estrategia de prueba de hipótesis usa la gente es la cantidad de capacidad de memoria que ocupa la estrategia y que era mucho más difícil para las personas descubrir conceptos negativos que conceptos positivos.	
1968	Desde una segunda línea inicial de investigación sobre el pensamiento científico, Wason reconoce la prueba de hipótesis como un componente clave del PC. Centró su trabajo en los diferentes tipos de estrategias que las personas emplean para formular hipótesis.
En el marco de los postulados de Popper, de que los científicos deberían tratar de falsificar sus hipótesis en lugar de confirmarlas, Wason ideó una tarea engañosamente simple para determinar si las personas adoptan una estrategia para tratar de confirmar o refutar sus hipótesis.	

Año	Antecedente
	<p>De su investigación Wason concluyó que las personas intentan confirmar sus hipótesis, mientras que, deberían intentar refutar sus hipótesis. Una implicación de esta investigación es que el sesgo de confirmación no se limita solo a los científicos, sino que es una tendencia humana general.</p>
1970 - 1980	<p>No fue hasta esta década que se propuso una explicación general del razonamiento científico</p> <p>Herbert Simon, en colaboración con Allan Newell, propusieron que el PC es una forma de resolución de problemas que puede caracterizarse como una búsqueda en varios espacios problemáticos (Simon, 1977). Sostienen que tanto el pensamiento científico en general como la resolución de problemas en particular podrían concebirse como una búsqueda en un espacio de problemas y que al caracterizar los tipos de representaciones y procedimientos que las personas utilizan para pasar de un estado a otro, es posible comprender el pensamiento científico.</p> <p>El principio fundamental de su investigación fue, que el PC y el descubrimiento no es un proceso mágico misterioso, sino un proceso de resolución de problemas en el que se utilizan heurísticas claras.</p> <p>El objetivo de Simon era articular las heurísticas que los científicos utilizan en su investigación a un nivel detallado. Para ello diseño programas programas de computadora que simulaban el proceso de varios descubrimientos científicos importantes, articulando así los cálculos específicos que los científicos podrían haber usado para hacer esos descubrimientos (Langley, Simon, Bradshaw y Zytkow, 1987).</p> <p>Los trabajos de Simon y Lea (1974) son de gran relevancia en el estudio del PC dado que demuestra que la formación e inducción de conceptos consisten en una búsqueda en dos espacios de problemas: un espacio de instancias y un espacio de reglas.</p>
1980 - 2004	<p>Las primeras investigaciones sobre el pensamiento científico se resumen en el libro de Tweney, Doherty y Mynatt On Scientific Thinking (1981), donde esbozaron muchos de los temas que han dominado la investigación sobre el pensamiento científico durante las últimas décadas.</p> <p>En años posteriores se destacan publicaciones como Cognitive Models of Science (Giere, 1993), Exploring Science (Klahr, 2000), Cognitive Basis of Science (Carruthers, Stich y Siegal, 2002) y New Directions in Scientific and Technical Thinking (Gorman, Kincannon, Gooding, y Tweney, 2004) donde se proporcionan diversos análisis de los diferentes aspectos que subyacen el descubrimiento científico.</p> <p>Para años más recientes se hace relevante la el manual de Vosnadiou sobre la investigación del cambio conceptual (Vosniadou, 2008).</p>

Nota. Tomado de Dunbar y Klahr (2012) Dunbar (1993a, 1995, 1997, 2000,2002). Thagard (1999), Nersessian (1992), Dunbar (1988), Klayman y Ha (1987, 1988), Tweneyetal. (1981), Wason (1968).

Del recorrido histórico presentado en la Tabla 4, es de resaltar como los diferentes enfoques sentaron de una u otra manera las bases para el estudio de los procesos cognitivos que subyacen al PC . En general, Dunbar y Klahr (2012) sostienen que fueron Bruner, Wason y Simon los que sentaron las bases para el estudio contemporáneo sobre el PC.

En cuanto a los enfoques que explican cómo se orienta y estudia el pensamiento científico, en un principio Dunbar (1999) identificó tres clases: enfoque experimental, enfoque computacional y enfoque basado en investigaciones del mundo real. Posteriormente esta clasificación fue ampliada a seis (6) formas en las que se ha estudiado el PC (Fugelsang y Dunbar, 2005). A continuación, se describe cada una de ellas (Tabla 5).

Tabla 5
Enfoques de estudio del PC.

In vivo	Orientado a investigar a los científicos como piensan y razonan en vivo sobre su investigación, este enfoque permite captar lo que los científicos hacen en un contexto naturalista
	En este enfoque se retira al científico de su laboratorio y se le investiga mediante tareas in vitro como: Estudio de protocolos que trabajan en un problema científico. estos protocolos dan detalles de la memoria de trabajo.
Ex vivo	Entrevistas sobre cómo hacen su investigación, estas entrevistas tienen como objetivo mostrarles problemas reales a los científicos Revisión de diarios de campo, estos permiten estudiar directamente a un científico y revelan con detalle los factores más relevantes en el desarrollo de sus investigaciones.
In vitro	En este enfoque de estudio se realizan investigaciones detalladas mediante experimentos controlados con precisión sobre aspectos del pensamiento científico.
In histórico	Este utiliza datos históricos detallados para reconstruir los procesos de pensamiento que llevaron a un descubrimiento en particular o a la resolución de problemas científicos y

	tecnológicos. (Gooding y Addis, 1993; Nersessian, 1984; Tweney, 1989; Tweney, Mears y Spitzmuller, 2005).
In silico	Es este enfoque de investigación se desarrolla mediante programas de computadora que simulan el pensamiento o el descubrimiento científico. Se basa en el modelado de algoritmos en base a los procesos cognitivos que subyacen al pensamiento científico, sus componentes específicos y relaciones. Estos incluyen diversos enfoques y estudios de casos (Dasgupta, 1994; Magnani, Nersessian y Thagard, 1999; Shrager y Langley, 1990).
In magnético	Este enfoque utiliza imágenes de resonancia magnética funcional para estudiar los patrones cerebrales de las personas mientras razonan científicamente o durante la resolución de problemas de orden científico. La técnica empleada en este enfoque tiene el potencial de develar los sitios del cerebro que están involucrados en el pensamiento científico y cómo interactúan entre ellos. El enfoque In magnético puede incluir investigaciones in vitro como in vivo (Dunbar y Fugelsang, 2005a) (p. 113).

Nota. Fuente Dunbar y Fugelsang (2005a), Dunbar y Fugelsang (2005b), Kevin Dunbar y Klahr (2012)

Por otro lado, Rosser (1999) propuso otro tipo de enfoque para el estudio del PC, planteando que este tiene dos tipos de pensamiento uno de dominio general y otro de dominio específico. El primero se encuentra constituido por los aspectos del PC que pueden ser usados en diferentes contextos, incluyendo el diseño y la elaboración de experimentos, la extracción de inferencias a partir de datos y la evaluación de la validez de las conclusiones. Este tipo de PC involucra estrategias, heurísticas y métodos que pueden ser aplicados en diversas situaciones.

En cuanto al segundo, el pensamiento de dominio específico, este se presenta en situaciones ordinarias y se superpone o asemeja al PC (Magno, 2015). Esta tipología de pensamiento se ejecuta cuando la gente común utiliza sus propias teorías. En palabras de Khun (1989), el PC es entendido como el pensamiento ingenuo.

En otra clasificación, Magno (2015), señala que el PC involucra dos niveles, experto y principiante. Aclara al respecto que el PC es una construcción exhibida por un experto quien ha pasado muchas horas entrenando o resolviendo problemas en un dominio que puede ir desde la geología, hasta la reparación de automóviles (Ericsson y Lehman, 1996, como se citaron en Magno, 2015).

5.3.1.1 Procesos mentales asociados al PC.

Los procesos mentales que subyacen al pensamiento científico y al descubrimiento, han sido investigados durante más de medio siglo por psicólogos cognitivos, educadores e investigadores de la creatividad (Dunbar, 2014). Entre los aspectos que mayor interés han presentado para ser investigados, se destacan: la resolución de problemas, el razonamiento analógico, la prueba de hipótesis, el cambio conceptual, el razonamiento colaborativo, el razonamiento inductivo y el razonamiento deductivo (Dunbar, 2014; Dunbar y Klahr, 2012; O'Donohue et al., 2014; Zimmerman, 2007).

Estos últimos, en general, fueron estudiados mediante un enfoque cognitivista donde los investigadores a partir de la introspección de su propio proceder científico establecían lo que es importante en la ciencia como, por ejemplo, la formación de conceptos. Posteriormente se diseñaban tareas que pudiesen ser usadas para investigar cada uno de los procesos subyacentes (Dunbar, 2014). A continuación (Tabla 6) se presenta un breve resumen de los aspectos más estudiados y las investigaciones relacionadas en el campo del PC.

Tabla 6*Procesos cognitivos relacionados e investigaciones relacionadas con el PC*

Proceso	Descripción	Investigaciones relacionadas
Resolución de problemas	<p>Procesos de pensamiento mediante los cuales las personas representan o comprenden situaciones problemáticas y buscan posibles formas de llegar a su objetivo.</p> <p>En el marco de la ciencia cognitiva el pensamiento científico y el descubrimiento científico pueden concebirse como una forma de resolución de problemas</p>	<p>Redescubrimiento de conceptos científicos y mapa de los tipos de espacios de problemas en los que los participantes buscan (Qin y Simon, 1990).</p> <p>heurísticas de resolución de problemas en el descubrimiento del ciclo de la urea de Krebs (insilico) (Kulkarni y Simon,1988)</p> <p>Espacio de problemas como una búsqueda a través de dos espacios relacionados: un espacio de hipótesis y un espacio de experimentación (Klahr y Dunbar ,1988)</p> <p>espacios alternativos de resolución de problemas, incluidos aquellos para datos, instrumentación y conocimiento de dominio específico (Klahr y Simon, 1999; Schunn y Klahr, 1995, 1996)</p>
Razonamiento analógico	<p>La analogía es utilizada frecuentemente por los científicos para formar un puente entre lo que ya saben y lo que están tratando de explicar, comprender o descubrir. En cuanto al razonamiento analógico es uno de los procesos de razonamiento ampliamente utilizados en la ciencia, Implica la utilización del conocimiento desde un dominio relativamente bien conocido (la fuente) y su aplicación en otro, menos familiar (la meta). En general se piensa que el razonamiento analógico comprende cinco subprocesos: recuperación , cartografía, evaluación abstracción y predicción</p>	<p>Investigación sobre pensamiento y razonamiento analógico (ver Holyoak, 2012) modelos y teorías de razonamiento analógico (Gentner, Holyoak y Kokinov, 2001).</p> <p>razonamiento analógico como aspecto clave del descubrimiento científico (Thagard yCroft ,1999; Nersessian ,1999, 2008; Gentner y Jeziorski ,1993) investigación sobre la analogía (Gentner et al., 1997; Holyoak y Thagard 1995) formas en que los científicos usan analogías (Dunbar,1995, 2001, 2002) utilidad de las analogías Evelyn (Fox-Keller, 1985)</p>
Elaboración y contrastación de hipótesis	<p>Una hipótesis es una proposición o idea que puede ser comprobada o evaluada mediante la recopilación de evidencias que la apoyen o refuten. En cuanto a la prueba de hipótesis, se</p>	<p>paradigma del sesgo de confirmación (Wason,1968; Klayman y Ha ,1987; Gorman ,1989;Penner y Klahr, 1996; Mitroff,1974)</p>

Proceso	Descripción	Investigaciones relacionadas
	<p>define como el proceso de evaluar una proposición mediante la recopilación de pruebas con respecto a su verdad</p> <p>Algunos investigadores del PC han considerado que probar hipótesis específicas predichas por teorías es uno de los atributos clave del pensamiento científico.</p>	<p>estrategia de confirmación temprana, refutación tardía (Tweney,1989)</p> <p>Memoria de trabajo y cambio de hipótesis (Dunbar y Sussman ,1995)</p> <p>Estrategias para superar el sesgo de confirmación. (MacPherson y Stanovich ,2007)</p>
Cambio conceptual	<p>Se define como los cambios a gran escala en los conceptos que ocurren durante largos períodos de tiempo. Se enmarca en el proceso de aprendizaje de conceptos y en la modificación de los ya existentes. De los diversos tipos de cambio conceptual que pueden ser identificados se destacan los de orden superficial (enriquecimiento y revisión) y los de orden radical (reestructuración del conocimiento). Respecto a estos últimos, en algunos casos se requieren procesos intencionales por parte del individuo para que se presente una reestructuración del conocimiento.</p>	<p>proceso de “cambio conceptual radical” (Keil, 1999; Nersessian 1998, 2002; Thagard, 1992; Vosniadou, 1998)</p> <p>compendio sobre cambio conceptual, The International Handbook of Research on Conceptual Change (Vosniadou, 2008)</p> <p>cambio conceptual (Dunbar ,1995)</p>
Razonamiento abductivo	<p>Es una forma importante de razonamiento que utilizan los científicos cuando buscan proponer explicaciones para eventos como hallazgos inesperados, la abducción implica la generación de nuevos conocimientos y, por lo tanto, también está relacionada con la investigación sobre la creatividad.</p>	<p>Estudio de eventos inesperados (Lombrozo,2008; Magnani, et al., 2010; Klahr y Masnick, 2001)</p>
Razonamiento inductivo	<p>Se define como el proceso por el cual se establecen conclusiones generales sobre las propiedades de los miembros que pertenecientes a un grupo en concreto a partir del conocimiento de una o varias categorías de algunos de los miembros. En otras palabras, este tipo de razonamiento se generaliza para todos los miembros de un</p>	<p>Un ejemplo es el descubrimiento mediante razonamiento inductivo de que cierto tipo de bacteria es la causa de muchas úlceras (Thagard, 1999)</p> <p>Inducción por generalización, Inducción categórica(Smith, Shafir y Osherson ,1993; Heit, 2000) ; Medin et al. 2008)</p>

Proceso	Descripción	Investigaciones relacionadas
	<p>conjunto, la propiedad examinada en un número limitado de casos, transitando de este modo, de lo particular a lo general.</p> <p>El razonamiento inductivo se manifiesta siempre que se construyen una generalización, estas últimas suelen ser de orden descriptivo, aunque en ciertos casos en concreto pueden llegar a ser de orden explicativo, siendo estas las más importantes para la ciencia.</p>	
Razonamiento deductivo	<p>Se define como la actividad de la mental que permite deducir una conclusión a partir de una serie de proposiciones previas. En este tipo de razonamiento, a diferencia del razonamiento inductivo, no se genera conocimiento nuevo. Se caracteriza por ser de tipo silogístico (compuesto por tres proposiciones), relacional y por transitar de lo general a lo particular.</p> <p>Por otra parte, tanto el razonamiento categórico como el condicional se consideran formas del razonamiento deductivo.</p>	Teorías del razonamiento deductivo Holyoak (2012)
Razonamiento causal	<p>En gran medida el pensamiento científico y la construcción de teorías científicas hacen parte del desarrollo de modelos causales cuyo objetivo es la búsqueda del cómo funcionan las variables que intervienen un determinado fenómeno (mecanismos causales) respecto a la frecuencia con la que coexisten (datos estadísticos). Respecto a la construcción de modelos causales, Dunbar (1997, 2001) señala que durante el proceso de elaboración de dichos modelos se recurre al uso de otro tipo de razonamientos como el colaborativo, el analógico y la resolución de problemas (heurísticas).</p>	<p>Formulación de modelos causales mecanicistas explícitos de eventos científicos. (p. ej., Ahn, Kalish, Medin y Gelman, 1995)</p> <p>razonamiento causal sobre hallazgos inesperados (in vivo) Dunbar (1995, 1997, 1999; Dunbar y Fugelsang, 2005a; Fugelsang, Stein, Green y Dunbar, 2004)</p> <p>construcción de modelos causales y simulación científica de razonamiento causal (in vitro) Dunbar y Fugelsang (2005a); Dunbar y Fugelsang (2005b)</p>

Nota. Tomado de (Dunbar y Klahr, 2012; Rosser, 1999).

De lo anterior es de exaltar el papel de la elaboración y contrastación de hipótesis. Al respecto algunos investigadores del PC han considerado que probar hipótesis específicas predichas por teorías es uno de los atributos clave del pensamiento científico.

En general, desde la psicología cognitiva, son numerosas las investigaciones que han permitido profundizar sobre ciertos subcomponentes de la mente científica, al respecto Dunbar y Klahr (2012) señalan que, para producir una imagen verdaderamente completa de la mente científica, las relaciones entre los diferentes aspectos del pensamiento científico (Tabla 6) deben ser combinados.

A modo de conclusión de este apartado, en el presente estudio se asume el PC como la actividad mental intencional propiciada por la necesidad de comprender el mundo natural y resolver problemas de orden científico mediante un enfoque sistemático y riguroso basado en la observación, la experimentación y la lógica. Se caracteriza por indagar sobre situaciones o cosas que se desconocen, por la búsqueda imaginativa de explicaciones posibles y la planificación imaginativa de formas de dar respuesta a las inquietudes planteadas (Furman, 2016). Se manifiesta empleando los mismos mecanismos cognitivos que cualquier otra de actividad mental, pero en una determinada configuración (K. Dunbar y Klahr, 2012; Skekun, 1981) .

Se asume, además, la resolución de problemas, el razonamiento analógico, la elaboración y prueba de hipótesis, el cambio conceptual, el razonamiento colaborativo, el razonamiento inductivo, el razonamiento deductivo (K. Dunbar, 2014; K. Dunbar y Klahr, 2012; O'Donohue et al., 2014; Zimmerman, 2007) y la metacognición

(Koslowski, 1996; Kuhn y Franklin, 2006; Wilkening y Sodian, 2005; Zimmerman, 2007; Zimmerman y Croker, 2014) como los principales procesos cognitivos que subyacen al PC.

5.3.2 *Pensamiento Tecnológico*

Skekun (1981), define el pensamiento tecnológico como, el conjunto de procesos mentales destinados a solucionar problemas de orden técnico, cuya razón de ser, gira en torno al desarrollo de técnicas y a la producción de conocimientos para la manipulación de la naturaleza. Señala, además, que dos de las características más notables que lo definen son la estrecha unidad existente entre los componentes teóricos y prácticos de la actividad tecnológica y la continua fusión e interacción de acciones mentales y prácticas .

Arenas, Ortiz y Álvarez (2005), señalan que el PT “constituye una forma específica de operar cognitivamente donde intervienen un sujeto y un objeto con el fin de proyectar ideas de orden técnico” (p. 132). Por su parte, Merchán (2018) señala que el PT es una actividad mental:

De orden epistemológico (estructural), psicológico (funcional) y dinámica (histórico y contextual) que, por un lado, define una forma particular e intencional de ver, abordar, operar e intervenir la realidad (percibible e inteligible) en que el ser humano se desenvuelve y, por otro lado, un modo creativo de adquirir, representar, aprender articular y/o modificar los saberes y objetos de conocimiento que subyacen a esta realidad (p. 15).

En relación con sus objetivos, el PT persigue fundamentalmente dos: en primer lugar, busca comprender y estudiar el uso y apropiación de la tecnología, la formas de solucionar problemas tecnológicos y con tecnología, la relación tecnología – sociedad y sus interdependencias, sus transformaciones de la naturaleza y la evolución tecnológica; en segundo lugar, busca atender los problemas, necesidades y/o deseos que se originan de la relación técnica entre el ser humano y sus contextos de interacción, contextos que pueden ser naturales, artificiales, personales y/o epistemológicos (Merchán, 2018).

En cuanto a las características, atributos y componentes fundamentales, en el PT se pueden identificar 13 características, 9 atributos y 7 componentes. Estos se presentan a continuación (Tabla 7).

Tabla 7
Características, atributos y componentes del PT.

Características (Merchán ,2018)	<p>Es una actividad mental funcional. Está delimitado por las dimensiones del ser. Es de carácter individual, único e irrepetible. Se define por el desarrollo biológico, el ambiente y la interacción sociocultural. Puede estudiarse, modificarse desarrollarse y potenciarse mediante acciones educativas. Es recurrente, concurrente, proyectivo y contextualizado. Es propósito educativo y producto individual y cultural. Establece niveles de formación tecnológica: uso, adopción, adaptación, generación, administración y evaluación tecnológica. Está contenido en y por los contextos personal, sociocultural, temporal, geográfico e histórico. Define las actividades pedagógicas de orden tecnológico y didáctico. Genera conocimiento tecnológico y materialización de productos tecnológicos. Involucra la realización de acciones tecnológicas como problematizar, conceptualizar, diseñar, planear, fabricar y evaluar Construye redes complejas de conocimiento mediante la manipulación constante de y sobre artefactos-datos-información que ofrece y/o establece el medio.</p>
Atributos (Cárdenas, 2013)	<p>Análisis/síntesis, analogía/contraste, causa/efecto, sistema mental, ponderación, mentalidad proyectual, solución de problemas racionalidad e incorporación de áreas de conocimiento relacionadas.</p>

Componentes fundamentales (Merchán ,2018)	Dimensiones educables del ser humano, objetos de pensamiento-conocimiento, acciones tecnológicas, niveles de formación tecnológica, productos tecnológicos, condiciones ético –sociales y contexto socio-histórico-cultural, político y económico
---	---

Nota. Elaboración propia

5.3.2.1 Procesos mentales asociados al PT

Los primeros estudios al respecto pueden ser ubicados en la década del setenta, siendo Halfin (1973) el primero en establecer 17 procesos mentales y métodos de indagación que eran utilizados de forma reiterativa por tecnólogos en ejercicio para resolver problemas de orden técnico. Utilizando un enfoque similar al empleado en el estudio del PC, donde se indagó cómo los grandes científicos llevaban a cabo sus descubrimientos, Halfin (1973), revisó los escritos de diez tecnólogos de alto nivel; de los cuales se destacan personajes como Buckminster Fuller (diseñador, arquitecto, escritor e inventor estadounidense), Thomas Edison (inventor, científico y empresario estadounidense) y Frank Lloyd Wright (arquitecto, diseñador de interiores, escritor y educador estadounidense). Los 17 procesos mentales identificados por Halfin (1973) se describen a continuación (Tabla 8).

Tabla 8

Descripción de los procesos mentales del PT identificados por Halfin.

Proceso Mental	Descripción
Definición operativa del problema u oportunidad.	El proceso de plantear o definir un problema que mejorará la investigación y conducirá a una solución óptima. Está transformando un estado de cosas en otro estado deseado.

Proceso Mental	Descripción
Observar	El proceso de interactuar con el medio ambiente a través de uno o más de los sentidos. (Ver, oír, tocar, oler y saborear). Los sentidos se utilizan para determinar las características de un fenómeno, problema, oportunidad, elemento, objeto, evento, sistema o punto de vista. Las experiencias, los valores y las asociaciones del observador pueden influir en los resultados.
Analizar	El proceso de identificar, aislar, desarmar, descomponer o realizar acciones similares con el propósito de establecer o aclarar los componentes básicos de un fenómeno, problema, oportunidad, objeto, sistema o punto de vista.
Visualizar	El proceso de percibir un fenómeno, problema, oportunidad, elemento, objeto, evento o sistema en la forma de una imagen mental basada en la experiencia del perceptor. Incluye un ejercicio de todos los sentidos para establecer una analogía mental válida para los fenómenos involucrados en un problema u oportunidad.
Computar	El proceso de seleccionar y aplicar símbolos, operaciones y procesos matemáticos para describir, estimar, calcular, cuantificar, relacionar y / o evaluar en el sentido numérico real o abstracto.
Comunicar	El proceso de transmitir información (o ideas) de una fuente (emisor) a otra (receptor) a través de un medio utilizando varios modos. (Los modos pueden ser orales, escritos, gráficos, símbolos o cualquier combinación de estos).
Medir	El proceso de describir características (mediante el uso de números) de un fenómeno, oportunidad, elemento, objeto, evento, sistema o punto de vista en términos que son transferibles. Las mediciones se realizan por medios directos o indirectos, son en escalas relativas o absolutas, y son continuas o discontinuas.
Predecir	El proceso de profetizar o predecir algo por adelantado, anticipando el futuro sobre la base de un conocimiento especial.
Cuestionar e hipotetizar	Cuestionar es el proceso de preguntar, interrogar, desafiar o buscar respuestas relacionadas con un fenómeno, problema, oportunidad, elemento, objeto, evento, sistema o punto de vista. La formulación de hipótesis es un proceso de enunciado de una teoría de la relación tentativa entre dos o más variables a probar que son aspectos de un fenómeno, problema, oportunidad, elemento, objeto, evento, sistema o punto de vista.
Interpretación de datos	El proceso de aclarar, evaluar, explicar y traducir para proporcionar (o comunicar) el significado de datos particulares.
Construcción de modelos y prototipos	El proceso de formar, hacer, construir, fabricar, crear o combinar piezas para producir un modelo o prototipo a escala.
Experimentar	El proceso de determinar los efectos de algo no probado previamente para probar la validez de una hipótesis, demostrar una verdad conocida (o desconocida) o probar varios factores relacionados con un fenómeno, problema, oportunidad, elemento, objeto, evento particular, sistema, o punto de vista.

Proceso Mental	Descripción
Probar	El proceso de determinar la viabilidad de un modelo, componente, sistema, producto o punto de vista en un entorno real o simulado para obtener información para aclarar o modificar especificaciones de diseño.
Diseñar	El proceso de concebir, crear, inventar, idear, esbozar o planificar mediante el cual se puede lograr algún fin práctico, o proponer una meta para satisfacer las necesidades, deseos, problemas u oportunidades de la sociedad para hacer las cosas mejor. Diseñar un proceso cíclico o iterativo de perfeccionamiento o mejora continua.
Modelar	El proceso de producir o reducir un acto, arte o condición a una construcción generalizada que puede presentarse gráficamente en forma de bosquejo, diagrama o ecuación; presentado físicamente en forma de modelo a escala o prototipo; o descrito en forma de generalización escrita.
Crear	El proceso de combinar los componentes básicos o ideas de fenómenos, objetos, eventos, sistemas o puntos de vista de una manera única que satisfará mejor una necesidad, ya sea para el individuo o para el mundo exterior.
Gerenciar	El proceso de planificación, organización, dirección, coordinación y control de las entradas y salidas del sistema.

Nota. Adaptado de Halfin (1973).

Posteriormente, Wicklein y Rojewski (1999) revalidaron y actualizaron el trabajo original de Halfin (1973), mediante un estudio donde participaron profesionales de diferentes ramas de conocimiento como la ingeniería, mecánica y el diseño, confirmando de esta manera los 17 procesos mentales y los métodos de investigación que Halfin (1973) empleó. También agregaron 10 ítems adicionales (Tabla 9) que incrementaron a 27 los procesos mentales considerados necesarios para la resolución de problemas técnicos.

Tabla 9*Procesos mentales del PT adicionados por Wicklein y Rojewski.*

Proceso Mental	Definición
Contextos	Comprender el contexto social, cultural, organizacional, etc. de la tarea.
Investigación	El proceso de familiarizarse con la información básica necesaria para investigar el problema. Saber qué tipo de información buscar y dónde ubicarla.
Búsqueda de soluciones	No se proporciona una definición.
Revisión de tecnología	El proceso de evaluar el desempeño de una solución en un momento apropiado en el futuro.
Transferencia / transformación	Para transferir un proceso a través de áreas o campos a nuevas situaciones.
Valores	Comprender el papel de los técnicos y los valores de los demás a la hora de decidir cursos de acción.
Análisis del cliente	El proceso de evaluar las entradas del receptor o la tecnología.
Innovar	Aprovechar el "know-how" existente y ser capaz de implementarlo en nuevas situaciones.
Seguimiento de datos	El proceso de recopilación y registro de datos y condiciones de tiempo relacionadas con la aparición del problema.
Establecimiento de la necesidad	No se proporciona una definición.

Nota. Fuente Wicklein y Rojewski (1999)

Por otro lado, Hill (1997), con base en el trabajo de Halfin (1973), desarrolló en la década de los noventa un instrumento (que posteriormente es empleado por Strimel, 2014) basado en un programa de computadora cuyo propósito era registrar y analizar mediante la codificación en dos letras, la duración y frecuencia del uso de los 17 procesos mentales por parte de los estudiantes. La técnica propuesta por Hill (1997) consistía en observar a los estudiantes mientras completan actividades de resolución de problemas tecnológicos para determinar con qué duración y con qué frecuencia se emplean varios de

ellos. Dicha técnica se denominó Procedimiento de observación para los procesos mentales de educación tecnológica (OPTEMP por sus siglas en inglés).

Con el fin de establecer un conjunto más conciso de procesos mentales que atienda la dificultad que representa el uso práctico de los procesos mentales propuestos por Halfin (1973) y Wicklein y Rojewski (1999), Strimel (2014), identificó sistemáticamente los temas o constructos clave representativos de los procesos mentales necesarios para la resolución de problemas tecnológicos y redujo la lista a cinco categorías donde se enmarcan los procesos mentales que se emplean usualmente al resolver problemas relacionados con la tecnología.

Entre los hallazgos descritos en el trabajo de Strimel (2014) es de resaltar la similitud de sus resultados de clasificación de cinco factores de este estudio, con las cinco categorías que señalan Wicklein y Rojewski (1999) sobre la identificación y priorización de los procesos mentales fundamentales que son utilizados por los tecnólogos para resolver problemas técnicos. En la Tabla 10 se presentan las cinco categorías establecidas tanto en el estudio de Wicklein y Rojewski (1999), como en el de Strimel (2014). Aunque los títulos difieren de los hallazgos de ambas investigaciones, los conceptos siguen caminos similares (Strimel, 2014).

Tabla 10

Categorías comparadas entre Wicklein y Rojewski (1999) y Strimel (2014).

Categorías de los procesos mentales	
Delphi Wicklein y Rojewski (1999)	Análisis factorial Strimel (2014)
análisis	análisis de datos
conceptualización	búsqueda de soluciones
creatividad	innovación
investigación	investigar el problema
sociales	evaluar resultados

Nota. Tomado de Wicklein y Rojewski (1999); y Strimel (2014).

En general, los trabajos de Halfin (1973), Wicklein y Rojewski (1999) y Hill (1999), establecieron la base para estudios posteriores (Hill y Wicklein, 1999; Strimel, 2014) relacionados con los procesos mentales que subyacen a la solución de problemas de orden técnico y representan un punto de partida para la evolución de currículos, planes de estudio y estrategias de enseñanza/aprendizaje en el campo de la educación en tecnología.

De forma aún más específica, y dentro del campo de la neurocognición, Vaesen (2012) y Osiurak et al. (2020) plantean dos líneas de estudio que, en suma, brindan un marco para el estudio de las bases cognitivas que subyacen el uso de herramientas humanas identificando los procesos cognitivos clave involucrados en los diferentes modos de interacción entre el ser humano y las herramientas tanto simples como sofisticadas.

La primera línea se orienta en el análisis comparativo entre humanos y grandes primates en el uso y fabricación de herramientas; la segunda se orienta al análisis

correlacional entre daño cerebral y el uso y fabricación de herramientas. Es de resaltar que ambas líneas de estudio han propiciado la teorización frente al razonamiento tecnológico, la cognición causal, la acumulación tecnológica cultural y la conformación de un nuevo campo de estudio en ciencias cognitivas al cual Osiurak et al., (2020) denomina “tecnicion”.

El uso de herramientas es considerado una actividad producto de la manifestación del PT, pues desde una perspectiva de la ecología humana, el hombre está obligado a elaborar un ambiente artificial que responda a sus necesidades, a moldear su entorno natural mediante la transformación tecnológica del medio donde pretende vivir. Es así como la fabricación y el uso de herramientas de todo nivel, ha permitido que el hombre domine cada vez más la naturaleza a favor de su conveniencia.

Así como en muchos otros tópicos de la neurociencia, los estudios de patologías cerebrales han abierto las puertas a una mayor comprensión del funcionamiento del cerebro, el uso de herramientas no ha sido ajeno a estas maneras de entendimiento. A continuación (Tabla 11) se presentan algunos de los estudios más relevantes frente al uso de herramientas y su relación con algunas situaciones de daño cerebral.

Tabla 11

Hallazgos sobre al uso de herramientas y daño cerebral.

Autor(es) del estudio	Hallazgos
Heilman et al., 1997; Ochipa et al., 1989, 1992	Sugieren que algunos pacientes con daño cerebral son incapaces de usar los objetos normalmente debido a la pérdida del conocimiento conceptual sobre la función del objeto

Autor(es) del estudio	Hallazgos
Goldenberg y Hagmann (1998)	Encontraron una fuerte asociación entre las habilidades de resolución de problemas mecánicos y la capacidad de usar objetos familiares, en pacientes con daño cerebral en el lóbulo izquierdo.
Hodges et al., (1999) y (posteriormente Spatt et al., (2002))	Señalan que las habilidades mecánicas para resolver problemas pueden verse afectadas en pacientes que presentan degeneración corticobasal, condición que se manifiesta con el deterioro en el desarrollo de actividades cotidianas que involucran el uso de objetos
Hodges et al. (2000)	Indicaron la existencia en pacientes con demencia semántica de una fuerte correlación entre el grado de deterioro del conocimiento conceptual y la capacidad para demostrar el uso de objetos comunes de forma aislada
Bartolo et al., 2007	Afirman que el uso de objetos familiares y las habilidades mecánicas para resolver problemas de forma independiente puede ser afectado a causa de daño cerebral. Agregan que el uso de objetos no solo se apoya en la capacidad de inferir la función estructural del objeto, sino también por otros procesos cognitivos como el conocimiento conceptual y/o razonamiento causal
Buxbaum y Saffran, 2002; Buxbaum et al., 2003), Buxbaum et al., 2005a	demostrado que los pacientes con dificultades para producir y reconocer pantomimas tienen un conocimiento reducido de la manipulación hábil de objetos cuando se les evalúa con tareas de opción múltiple, posteriormente se afirmaron dichos hallazgos mediante la evaluación con imágenes motoras. Estos estudios destacan la importancia de la imaginación motora en la pantomima del uso de objetos.
Hartmann et al., 2005 (previamente Buxbaum et al., 1997)	Sugieren que el conocimiento conceptual intacto no es necesario ni suficiente para garantizar su adecuada utilización en acciones que involucran el uso de varios objetos
Osiurak et al 2009	Señalan que solo los pacientes con daño cerebral izquierdo tienen más dificultades en la prueba de uso inusual de objetos que los controles o los pacientes con daño cerebral derecho, y que la gravedad de su deterioro se correlaciona con la del uso convencional de objetos. Los hallazgos de este estudio apoyan el modelo de razonamiento tecnológico.

Nota. tabla construida con base a Osiurak et al. (2009). La pantomima como la imagenología motora implican la representación mental de acciones motoras y pueden estar relacionadas en términos de cómo el cerebro procesa y representa estas acciones.

En los anteriores hallazgos se evidencia la importancia de procesos cognitivos como: el conocimiento conceptual, razonamiento causal y razonamiento tecnológico, en

el uso de objetos (tanto familiares como inusuales) y la ubicación de su funcionamiento en el área izquierda del cerebro.

Frente al conocimiento conceptual, este se refiere a la comprensión de las características, propiedades y relaciones de los objetos en función de sus categorías y conceptos. Este tipo de conocimiento implica la identificación de los rasgos y atributos comunes que definen una categoría de objetos y cómo estos se relacionan entre sí. Este conocimiento se adquiere a través de la experiencia y la exposición a diferentes objetos y categorías a lo largo del tiempo.

Respecto al razonamiento causal Vaesen (2012), lo define como la covarianza entre una causa (p. ej., acción de corte con una herramienta) y un efecto (p. ej., corte de un alimento). Advierte que el razonamiento causal también implica inferir los mecanismos que relacionan tanto causa como efecto: es decir, comprender la relación causal que explica la ocurrencia de dicha covarianza.

Con relación al razonamiento tecnológico, Gagnepain (1990) y Le Gall (1998) señalan que el uso de los objetos está orientado por un razonamiento basado en dos principios tecnológicos abstractos: el primero constituido por la capacidad de reconocer y/o identificar medios tecnológicos de la materia física (esta perspectiva se basa en el supuesto de que no hay superposición entre la realidad técnica y la realidad física (osiurak et al, 2009)) y, el segundo, por la capacidad de combinar medios tecnológicos (los medios tecnológicos son principios abstractos adquiridos mediante la experiencia y no están vinculados con ninguna representación específica del objeto (osiurak et al.,

2009). Es de resaltar que en la capacidad de combinar medios podría estar en el origen del progreso tecnológico (Osiurak et al., 2009).

Con base al modelo de razonamiento tecnológico desarrollado originalmente por Gagnepain (1990), Osiurak (2020), postula que la mente tecnológica se origina en habilidades neurocognitivas; habilidades que por cierto cuentan con alta probabilidad de ser exclusivas de los humanos (aún faltan estudios concluyentes con cuervos, pinzones, delfines, nutrias y elefantes (Vaesen, 2012).

Gagnepain (1990), señala, además, que el razonamiento tecnológico, está involucrado en el entendimiento de las relaciones existentes entre herramienta-objeto, las cuales permiten a la especie humana reconocer y seleccionar las herramientas más relevantes para realizar las acciones mecánicas apropiadas, según se necesite, en el uso y/o elaboración de herramientas familiares o novedosas. Al respecto, Osiurak (2020), ubica la base neural de este proceso en el lóbulo parietal inferior izquierdo.

En función de sus hallazgos Osiurak et al., (2020), no solo propone el razonamiento tecnológico (un tipo específico de razonamiento que se dirige hacia el mundo físico) como el pilar de su disertación, también sugiere la existencia de una ruptura epistemológica en el estado del arte que fundamenta el surgimiento de un nuevo campo en las ciencias cognitivas al cual denomina “tecnición”; campo dedicado a la inteligencia oculta detrás de las herramientas, otras formas de tecnologías y las construcciones.

Osiurak et al (2020), describe la técnica como un campo distinto de las ciencias cognitivas donde la memoria de trabajo (uso de herramientas secundarias - usar una herramienta para crear otra), planificación futura (guardar herramientas - reservar herramientas para futuros usos) y la teoría de la mente (cultura tecnológica acumulativa - mejorar las herramientas a lo largo de generaciones) toman una mayor relevancia. El autor presenta al proceso de razonamiento técnico como el pilar fundamental de la técnica dada su importancia no solo para usar diversos tipos de herramientas, sino también para fabricarlas o erigir construcciones.

A modo de resumen de este apartado, Osiurak (2020), plantea la existencia de un razonamiento destinado a la manipulación, abstracción y transformación del mundo físico y ubica dicho proceso en el área PF dentro del lóbulo parietal inferior izquierdo y afirma que su grosor predice su rendimiento (Osiurak, 2022). Así mismo sugiere que los procesos subyacentes del razonamiento tecnológico son parcialmente operativos a partir de los 6 años (Osiurak y Badets, 2016).

En cuanto a la segunda línea de estudio, es decir, la orientada al análisis comparativo entre humanos y primates no humanos, Vaesen (2012) expone una comparación sistemática entre estas dos especies entorno a nueve capacidades cognitivas consideradas definitivas para el uso de herramientas: coordinación mano-ojo, plasticidad del esquema corporal, razonamiento causal, representación de funciones, control ejecutivo, aprendizaje social, enseñanza, inteligencia social y lenguaje. Adicionalmente a la comparación, Vaesen (2012), muestra como el análisis de cada uno de los nueve (9)

rasgos cognitivos ayuda a explicar por qué la acumulación tecnológica evolucionó de manera notoria en humanos en comparación con los simios.

Respecto a la comparación llevada a cabo por Vaesen (2012) a continuación, en la Tabla 12, se presentan los hallazgos más importantes alrededor de las capacidades cognitivas revisadas

Tabla 12

Análisis comparativo entre humanos y primates no humanos.

Capacidad cognitiva	Hallazgos
Coordinación mano-ojo	En los humanos, cuentan con más tejido neural a las manos; poseen estructuras cerebrales para el análisis visual de orden superior, involucradas en el descubrimiento y la explotación de los recursos; y la preferencia manual contribuye a una mayor precisión manual y un aprendizaje social más fluido.
Plasticidad del esquema corporal	Rasgos compartidos al mismo nivel
Razonamiento causal	la evidencia sugiere que los chimpancés se desempeñan de manera modesta tanto en la capacidad de inferir mecanismos causales como en la capacidad de reconocer que tales mecanismos sustentan eventos causalmente análogos. por el contrario, los humanos, , tienen un impulso para buscar y generalizar explicaciones causales y, frecuentemente , aprenden sobre la causalidad a través de sus propios diagnósticos, comportamiento que aún no se ha evidenciado en los grandes simios.
Representación de funciones	Existe evidencia concurrente de que el uso de herramientas humanas depende de un sistema conceptual que representa su conocimiento funcional. Por el contrario, los primates (no humanos), , no asignan funciones particulares a objetos particulares, lo que dificulta que las tecnologías complejas sean reutilizadas.
Control ejecutivo	se constituye por la capacidad de inhibición, seguimiento automático, previsión y monitorear la acción continua estructurada jerárquicamente. No se conoce evidencia comparativa para seguimiento automático; los humanos y los chimpancés se desempeñan a la par en monitorear la acción continua. Sin embargo, la evidencia actual demuestra que los humanos todavía parecen tener habilidades únicas para inhibición y previsión.

Capacidad cognitiva	Hallazgos
Aprendizaje social	<p>El aprendizaje social humano es especial en tres aspectos.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. los humanos inician como imitadores predeterminados, fieles y no selectivos, y desarrollan modos de imitación más selectivos a lo largo de los años. 2. los humanos frecuentemente adquieren a través del aprendizaje social no solo medios, también una significativa amplia variedad de objetivos no básicos. 3. el aprendizaje por emulación también es plausiblemente con mayor fuerza en los humanos que en los grandes simios.
Enseñanza	<p>es única en humanos. Hasta ahora, no existe evidencia que otra especie no humana participe de manera sistemática en el tipo de enseñanza activa comúnmente observada en la especie <i>Homo sapiens</i>.</p>
Inteligencia social	<p>Cuatro rasgos sociocognitivos en particular son provechoso para el “Homo faber”("el hombre que hace o fabrica"):</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. reconocimiento y evaluación de señales sociales como indicador del valor de copia de un modelo. 2. la teoría de las habilidades mentales, que facilita el aprendizaje social selectivo y la separación entre producción y uso. 3. formas fuertes de reciprocidad contingente, que permiten profundas divisiones del trabajo y especialización. 4. compartir objetivos, que ayuda a distribuir los costos de tecnologías complejas entre colectivos de individuos. <p>En comparación con los parientes más cercanos al humano, estos puntúan notablemente más bajo en estos cuatro aspectos.</p>
Lenguaje	<p>Pese a que el lenguaje ha contribuido en gran medida a la sofisticación de las tecnologías humanas, la divergencia prehistórica entre humanos y otros primates frente al uso de herramientas seguramente no sea atribuible a la habilidad lingüística. En cambio, la evidencia acumulada sugiere que el uso de herramientas humanas ha desempeñado un papel causal en la evolución del lenguaje humano, y no al revés.</p>

Nota. Tabla construida en base a los hallazgos de Vaesen (2012) en su análisis comparativo entre humanos y simios no humanos.

De sus hallazgos Vaesen (2012), concluye que el uso de herramientas por parte de los humanos todavía marca una importante discontinuidad cognitiva (en materia de inteligencia social y no social) entre la especie humana y sus parientes más cercanos. Agrega que solo los animales humanos han sido capaces de producir tecnologías complejas

como sistemas de navegación satelital, comunicación inalámbrica, automatización de procesos o nanobots (entre otros no menos importantes). Resalta, además, la notable contribución de la sofisticación cognitiva social y no social en la acumulación tecnológica.

Es importante resaltar este tipo de estudios comparativos por su capacidad de brindar un marco de referencia frente a la evolución de la cognición humana. Ejemplo de ello es como, gracias al mejoramiento de la capacidad de la memoria de trabajo en los primeros homínidos y humanos, se dio paso a desarrollar secuencias cada vez más complejas de acciones de fabricación de herramientas (Haidle, 2010; Wynn y Coolidge, 2007, como se citaron en Osiurak et al., 2020).

Para finalizar este apartado, se señala que en la presente tesis doctoral se asume el PT como una forma intencionada y específica de operar cognitivamente (Arenas et al., 2005), destinada, mediante una elaboración mental, a solucionar problemas de orden físico (Osiurak et al., 2020), cuya razón de ser, gira en torno al desarrollo de técnicas y a la producción de conocimientos para la manipulación de la naturaleza y la transformación del entorno físico. Se asume, además, que el PT se caracteriza fundamentalmente por:

- Compartir mecanismos neuronales (como cualquier otra actividad mental) con otro tipo de actividades mentales pero configurados de tal forma que son específicos para el contexto tecnológico.
- Contar con una estrecha unidad entre los componentes teóricos y prácticos entorno a la actividad tecnológica (Skekun , 1981).
- Por la continua fusión e interacción de acciones mentales y prácticas (Skekun , 1981).

Frente al conjunto de procesos cognitivos que subyacen al PT se asumen: la resolución de problemas, el razonamiento técnico, el razonamiento causal (inferencial y analógico), el control ejecutivo (inhibición, previsión diagnóstica prospectiva), la conceptualización, la evaluación (eficacia, eficiencia y almacenamiento de herramientas), la creatividad (innovación), la investigación (cultura tecnológica acumulativa), las habilidades de la teoría de la mente (habilidades pedagógicas – imitación, cognición social), el control motor (coordinación ojo-mano) y la transferencia (esquemas mentales de solución).

5.4 Electroencefalografía (EEG) y localización de fuentes.

La electroencefalografía (EEG) o registro cerebral eléctrico, es una técnica de exploración funcional del sistema nervioso central (SNC) mediante la cual se capta el campo eléctrico cerebral en tiempo real cuando desarrolla una actividad específica, por ejemplo, pensar, hablar, resolver un problema, controlar la marcha, etc. (Ramos-Argüelles et al., 2009). Mediante esta técnica es posible medir “las fluctuaciones de tensión que resultan de los flujos de corriente iónica de las neuronas del cerebro” (Miguel et al., 2016, p.45)

Además de ser utilizada en contextos clínicos, Miguel et al., (2016), señala que la EEG también es empleada en:

el diagnóstico de epilepsia, del estado de coma o de muerte cerebral, encefalopatías, trastornos del sueño, suele usarse para la investigación en

psicología cognitiva u otras ciencias cognitivas, especialmente cuando la resolución temporal (los momentos más o menos exactos en que se producen los cambios en la conductancia neural) que el investigador quiere evaluar es relevante en el diseño de la investigación (p.45).

En cuanto a los dispositivos de registro en EEG, los primeros empleaban señales analógicas, hoy día, este tipo de señales están completamente en desuso, gracias a sus homólogos, que implementan en su funcionamiento amplificadores digitales, los cuales traen consigo ventajas como, la facilidad en adquisición, análisis y almacenamiento de la señal y la posibilidad de modificar tanto, durante la grabación como a posteriori, parámetros como filtros, sensibilidad, tiempo de registro y montajes (F. Ramos-Argüelles, 2009).

La EEG utiliza electrodos situados sobre el cuero cabelludo en la superficie cortical (EEG cortical) para registrar las oscilaciones de la actividad eléctrica a lo largo del tiempo. Estas ondas cerebrales se analizan para averiguar cuanta actividad existe en diferentes bandas, las cuales ubican en un margen de frecuencias entre 2 y 40 Hz. (de 2 a 40 ciclos por segundo). Es en este rango de frecuencias donde se realiza el estudio y el análisis de los campos eléctricos cerebrales (topografía, polaridad y su variación espacial temporal). Mediante la amplificación de cada derivación o canal de registro de la señal, se mide la diferencia de potencial entre dos electrodos (uno es el activo y otro el de referencia). Lo habitual es que se usen de 16 a 24 derivaciones en cada montaje. Esta técnica es indolora, no invasiva, de bajo costo, se realiza colocando electrodos de

superficie adheridos al cuero cabelludo por un gel conductor. Su ubicación se realiza de acuerdo con el sistema internacional 10-20. Es de resaltar que, gracias a que las ondas electromagnéticas se propagan de manera muy rápida, la EEG cuenta con alta sensibilidad temporal. No obstante, la EEG es considerablemente selectiva, teniendo mayor sensibilidad a las neuronas cercanas a la superficie del cerebro que a las neuronas más profundas (Baars y Gage, 2010).

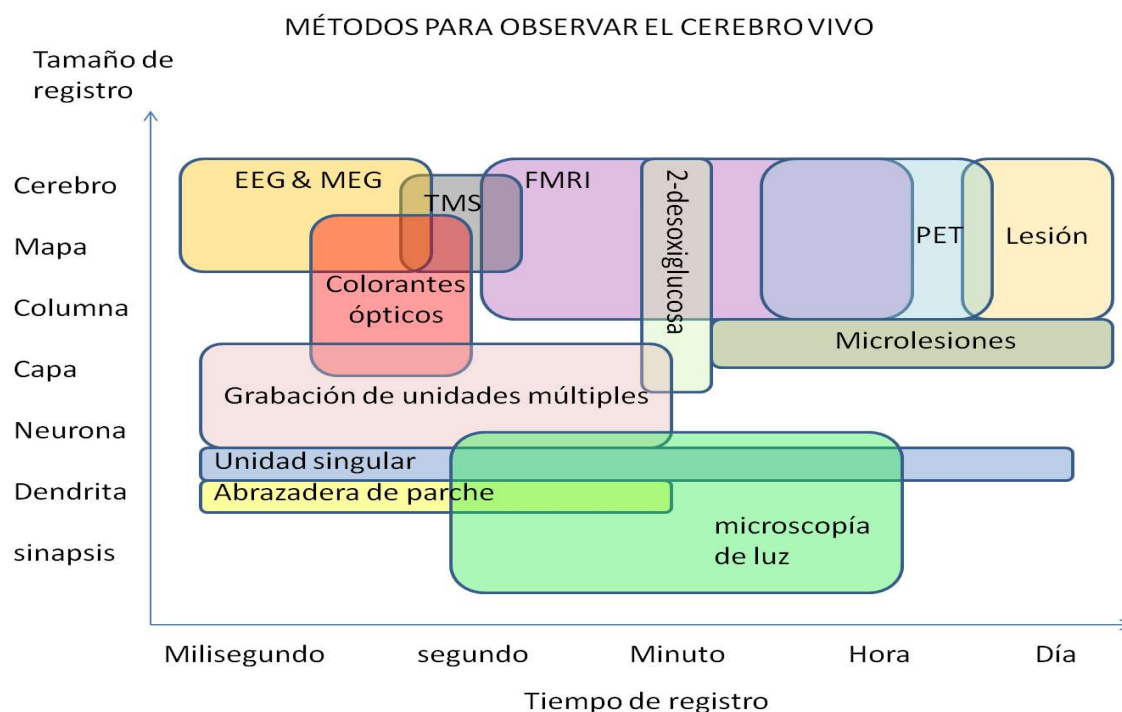
Por su parte, la EEG es una medida razonablemente directa de la actividad eléctrica del cerebro. Sin embargo, con decenas de miles de millones de neuronas en la corteza cerebral disparándose alrededor de 10 Hz, se tienen varios billones de eventos paralelos por segundo, de allí que la EEG en bruto sea compleja de interpretar y se requiera el análisis computarizado (Baars y Gage, 2010).

En relación con lo anterior, y gracias tanto a la digitalización de los registros EEG, como a la estandarización y el procesamiento computacional, la electroencefalografía cuantitativa (QEEG) se presenta como una evolución del tradicional análisis visual de registros EEG, Al respecto Nuwer (1997), define el QEEG como el procesamiento matemático de un EEG registrado digitalmente para:

- Resaltar componentes específicos de la forma de onda,
- Transformar el EEG en un formato o dominio que elucide información relevante.
- Asociar resultados numéricos con los datos del EEG para su comparación o análisis posterior.

En cuanto a la EEG y otras técnicas de estudio del cerebro vivo como la fMRI o magnetoencefalografía (MGE), existen algunas ventajas y desventajas de su utilización en términos de resolución tanto temporal como espacial, además de otras como costos, equipos, márgenes experimentales y uso. A continuación, en la Figura 2, se presenta una breve comparación de las principales técnicas de registro en términos espaciales y temporales.

Figura 2
Comparación de las principales técnicas de registro



Nota. Métodos para observar el cerebro vivo (traducción Baars y Gage, 2010).

Como puede apreciarse en la Figura 2, la EEG frente a otros métodos cuenta con una alta resolución temporal (milisegundos) pero una baja resolución espacial (cerebro). Actualmente se combinan uno o varios métodos con el fin de obtener resoluciones promedio en términos temporales y espaciales, en el siguiente aparte se presenta uno de estos métodos.

5.4.1 Localización de fuentes

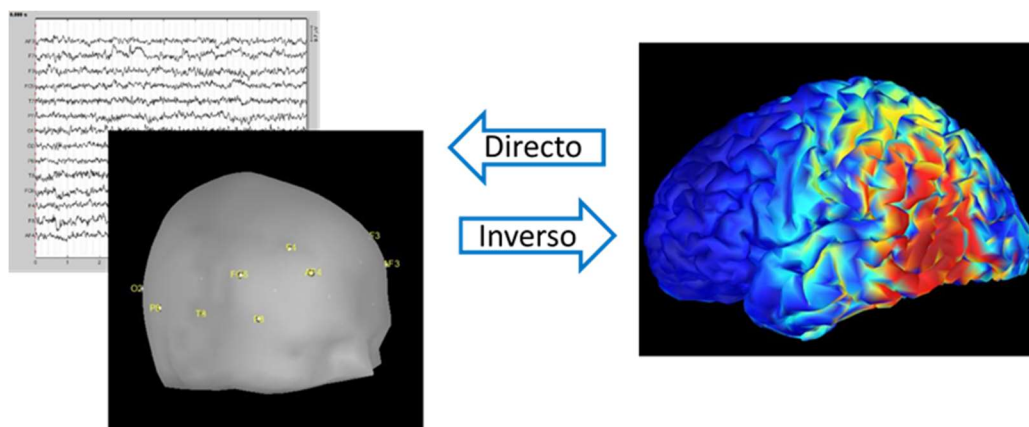
La localización de fuentes en neurociencia es un proceso que busca identificar las áreas cerebrales responsables de generar las señales eléctricas o magnéticas medidas por técnicas como la electroencefalografía (EEG) y la magnetoencefalografía (MEG). Este procedimiento es crucial para mapear la actividad cerebral en regiones anatómicas específicas y estudiar la dinámica espacio-temporal de los procesos neuronales (Jatoi et al., 2014a).

La localización de fuentes involucra dos tipos de problemas: directo e inverso. Frente al primero, se refiere al cálculo de cómo la actividad cerebral (fuentes) genera los campos eléctricos o magnéticos que son medidos por los sensores externos. Este proceso se basa en un modelo de cabeza que considera la geometría y la conductividad de los tejidos craneales. En relación con el segundo, se refiere a la estimación de la ubicación, orientación y fuerza de las fuentes neuronales a partir de los datos de los sensores. Para resolver el problema inverso se emplean diferentes técnicas, como el ajuste de dipolos y modelos distribuidos. Estas herramientas permiten reconstruir con precisión la actividad cerebral y mapear áreas específicas relacionadas con funciones sensoriales, motoras o

cognitivas, como lo demuestra su uso en el estudio de la conectividad funcional y en el análisis de redes neuronales en enfermedades neurológicas y psiquiátricas (Xie & Richards, 2022).

Figura 3

Representación gráfica del problema directo e inverso.



Nota. Imágenes generadas en Brainstorm correspondientes al procesamiento de registros.

En cuanto a los métodos para solucionar el problema inverso, existen dos grupos: los paramétricos o métodos de fuente concentrada (también conocidos como Equivalent Current Dipole o ECD por sus siglas en inglés) y los no paramétricos o modelos de fuente distribuidos (Grech et al., 2008). A continuación (Tabla 13) se presentan los métodos más destacados para cada uno de los grupos.

Tabla 13

Métodos de localización de fuentes paramétricos y no paramétricos.

Grupo	Método de localización
Métodos Paramétricos	Brain Electric Source Analysis (BESA), Dynamic Imaging of Coherent Sources (DICS), Multiple Signal Classification (MUSIC) y Linearly Constrained Minimum Variance (LCMV)
Métodos No Paramétricos	Weighted Minimum Norm Estimation (wMNE), Focal Undetermined System Solution (FOCUSS), Minimum Norm Estimation (MNE), Low-Resolution Brain Electromagnetic Tomography (LORETA), Standardized Low-Resolution Brain Electromagnetic Tomography (sLORETA), y Exact Low-Resolution Brain Electromagnetic Tomography (eLORETA)

Nota. Tabla construida con base a Jatoi et al.(2014^a; 2014b).

Al respecto, Jatoi et al. (2014b), plantean, en función a su revisión, que LORETA es el método que proporciona un error de localización más bajo en comparación con métodos de localización mencionados. Es importa agregar, que LORETA es el método más utilizado de entre todos los mencionados (Jatoi et al., 2014a; Jatoi et al., 2014b).

5.4.2 Tomografía electromagnética cerebral de baja resolución LORETA

La tomografía electromagnética cerebral de baja resolución (LORETA por sus siglas en inglés) es un tipo de análisis de electroencefalograma cuantitativo (QEEG) que suministra una estimación de la ubicación de los generadores cerebrales subyacentes, como por ejemplo la ubicación de las áreas que plantea Brodmann en su mapeo cerebral (Sherlin, 2009).

El análisis LORETA fue desarrollado y descrito originalmente por Pascual-Marqui, Michel y Lehman en 1994 (R. D. Pascual-Marqui et al., 1994). Este método es diferente a otras técnicas de análisis de QEEG pues en comparación al EEG, que

proporciona una medida de las diferencias de potencial eléctrico y su registro depende significativamente de la referencia, el método LORETA suministra una estimación de las densidades de corriente a un nivel cortical más profundo (Sherlin, 2009) y la reconstrucción es independiente de la referencia utilizada para obtener los registros (Pascual-Marqui, 1999).

LORETA utiliza algoritmos de mejor estimación que localizan los generadores corticales del disparo neuronal sumativo observado. LORETA implementa un modelo esférico de tres capas: piel, cráneo y corteza, que está coregistrado en el atlas MRI de Talairach y Tournoux (1988). Al respecto, Congedo, M., Lubar, J., Joffe, D., Joffe Low, D., Lubar, J. F., y Joffe, D. (2004) señalan que, al registrar conjuntamente el espacio de la solución en un atlas cerebral, es posible mapear la actividad eléctrica en todas las estructuras corticales. Para que LORETA resuelva con precisión la solución inversa, se asumen las siguientes suposiciones (Pascual-Marqui et al., 1994):

- Que el modelo de cabeza de tres esferas es un medio homogéneo dentro de cada esfera.
- Que las neuronas que están una al lado de la otra se activan sincrónica y simultáneamente.
- Que la solución se basa en la máxima suavidad, es decir, se eligen las neuronas contiguas con menor variabilidad.

Desde la publicación de los métodos de LORETA en 1994 (Pascual-Marqui et al. 1994), la técnica ha tenido avances significativos; en la actualidad se cuenta con la tomografía electromagnética cerebral estandarizada de baja resolución (sLORETA, por sus siglas en inglés) y la tomografía electromagnética cerebral exacta de baja resolución (eLORETA). Esta última se caracterizaba por localizar fuentes puntuales de prueba con un error de localización cero. Esta cualidad le brinda una mayor precisión respecto a las primeras metodologías desarrolladas (Pascua Marqui, 2002, Pascual Marqui, 2007a; Pascual Marqui et al., 2006). Es de resaltar que justamente la precisión con error cero de localización es una característica única entre todas las demás técnicas de tomografía de distribución lineal (Pascual Marqui, 2002).

Respecto a la resolución de la técnica, Pascual-Marqui (2007b), señala que la familia de métodos LORETA tiene una resolución espacial baja y la resolución espacial disminuye a medida que aumente la profundidad. Por otro lado, Pascual Marqui (2007b) agrega que las diferentes metodologías LORETA son un post-procesamiento de registros EEG, esto significa que la calidad de imágenes obtenidas está supeditada a la calidad de los datos con los que se alimenta a LORETA. Datos ruidosos traerán consigo imágenes ruidosas (Pascual Marqui, 2007b).

6 Metodología

En este capítulo se presenta la metodología que se empleó en la caracterización de los modos en los que opera el cerebro durante la ejecución de actividades para el PC, para el PT respectivamente y combinadas. Se describe, además, el diseño de investigación que se implementó y las fases de investigación, posteriormente se presentan las características de los participantes, los criterios de inclusión y exclusión.

Además, se precisan los procedimientos empleados, donde se incluye la descripción detallada de las actividades escolares, las técnicas de recolección de datos, y protocolos aplicados. Finalmente, se especifican los instrumentos utilizados y se describe de manera detallada las pruebas estadísticas empleadas.

6.1 Diseño de la Investigación

Dadas las características del estudio, el diseño de la investigación que se propone es de tipo seccional, ya que es el que más se ajusta a las necesidades que este requiere. Este diseño permite examinar diferentes grupos de personas en un solo punto del tiempo o en un momento dado (Sierra, 2001). Se caracteriza por no requerir la cooperación a largo plazo de los participantes, de allí que tenga una tasa baja de abandonos, es de bajo costo y de corta duración (Salkind, 1999). Es de resaltar que, un diseño de corte seccional “se clasifica como un estudio observacional de base individual que suele tener un doble propósito: descriptivo y analítico” (Rodríguez y Mendivelso, 2018, p. 45) y su unidad de análisis es el individuo. En este diseño se acostumbra incluir individuos con y sin una determinada condición en un momento determinado y el investigador realiza una sola

medición de una o múltiples variables en cada individuo, sin realizar ningún tipo de intervención (Rodríguez y Mendivelso, 2018). La utilidad y limitaciones de este tipo de diseño se presentan a continuación.

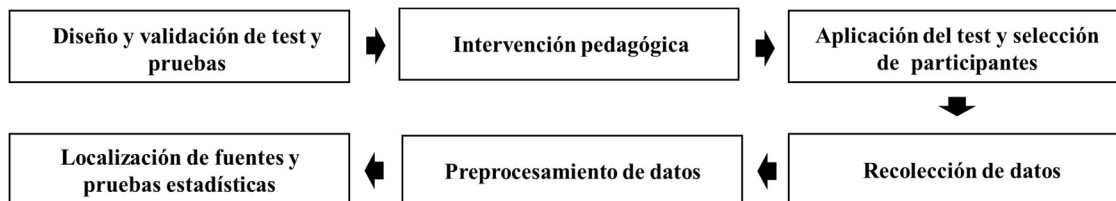
Tabla 14

Utilidad y limitaciones del diseño de corte seccional.

Utilidad	Limitaciones
<ul style="list-style-type: none"> • Permite generar hipótesis, identificar individuos con una condición o factor y explorar asociaciones entre exposiciones y efectos (Rodríguez y Mendivelso, 2018). • Permite el control en la selección de los sujetos y las mediciones de allí que no sea necesario esperar que el evento de interés se desarrolle (Manterola et al., 2019). • Permiten estudiar diferentes desenlaces si preocuparse por no las pérdidas de seguimiento (Rodríguez y Mendivelso, 2018). • Son rápidos, económicos y “constituyen el primer paso para estudios posteriores” (Manterola et al., 2019, p. 53). 	<ul style="list-style-type: none"> • No establecen secuencia de acontecimientos (eventos de interés). • No son útiles para estudiar eventos de interés raro o poco frecuente. • No permiten establecer relaciones causales, tampoco establecer incidencia ni riesgo relativo (Rodríguez y Mendivelso, 2018). • Presentan potenciales sesgos (medición y selección) (Manterola et al., 2019). • Generalmente el tamaño de la muestra se hace para determinar la prevalencia de una condición, con una precisión específica. Pocas veces se calcula el tamaño de la muestra para un análisis secundario o analítico de los datos” (Rodríguez y Mendivelso, 2018).

Nota. Fuente. Rodríguez y Mendivelso (2018), Manterola et al. (2019).

Por otro lado, es de resaltar, que la presente tesis doctoral se desarrolló, en el marco del diagrama que se presenta en la Figura 4 y cada una de las acciones allí planteadas son descritas con detalle, en los siguientes apartados de este capítulo.

Figura 4*Acciones metodológicas**Nota.* Elaboración Propia

6.2 Población Objetivo

La población objetivo fueron estudiantes de la institución educativa distrital Tomas Rueda Vargas, institución de carácter público, de índole técnico, que se sitúa en la localidad cuarta (San Cristóbal) de la ciudad de Bogotá. La institución se encuentra adscrita a la Secretaria de Educación Distrital (SED) y actualmente cuenta articulación proporcionada por el Servicio Nacional De Aprendizaje (SENA) en la media técnica. Es importante señalar que, la institución fue elegida principalmente por tres motivos: por el enfoque tanto técnico como científico del proyecto educativo institucional (PEI), por su carácter técnico y por la facilidad de acceso tanto a sus instalaciones como al currículo, al plan de estudio y a sus actividades de aula.

6.2.1 Participantes

En función del desempeño en el área de ciencias naturales y tecnología e informática se convocaron 30 estudiantes (15 mujeres y 15 hombres) de grado noveno de educación (ciclo 4), con antecedentes educativos homogéneos entre ellos y con un intervalo de

edades de 13 a 15 años a quienes se les informó acerca de las características del estudio, los protocolos de registro y se les invitó a participar. Posterior a el interés manifiesto de los estudiantes, se invitó a los respectivos acudientes legales y de la misma manera se les comunicó acerca del estudio, se les presentó el equipo de registro a utilizar y se les solicitó diligenciar el consentimiento informado (Anexo A) para hacer parte del estudio. De este grupo de 30, y posterior a la intervención pedagógica descrita en siguiente apartado, fueron seleccionados 24 estudiantes, 12 mujeres y 12 hombres, mediante el Test Escrito de Comprensión del Concepto de Eficacia -Eficiencia de Artefactos (PT) y del Concepto de Ley de Gravedad (PC) que se presenta en el apartado de procedimientos en su numeral 6.3.1.1.

Es relevante señalar que, la participación fue de carácter voluntaria, previo consentimiento de padres, madres y/o cuidadores. El número de participantes fue determinado con base en estudios en el campo, donde se implementan técnicas de neuroimagen. Por ejemplo, Fugelsang et al., (2005), en su estudio sobre los mecanismos cerebrales y la causalidad perceptiva, empleó 10 participantes (5 hombres y 5 mujeres), número que se justifica debido a las limitaciones tanto técnicas como económicas que trae consigo el uso de fMRI (Baars y Gage, 2010). Por su parte, Kim (2010) llevó a cabo un estudio sobre análisis de las actividades interhemiféricas del cerebro en la resolución de problemas tecnológicos, con 24 participantes seleccionados teniendo en cuenta proporcionalidad de género.

En cuanto a la etapa de desarrollo de los participantes, son estudiantes que se encuentran entre la adolescencia temprana y la mitad de su adolescencia, en la Tabla 15,

se describen algunas de las características más relevantes a nivel cognitivo que se manifiestan en esta etapa de desarrollo.

Tabla 15

Conocimiento cognitivo de la adolescencia temprana y mitad de la adolescencia

Etapa de desarrollo	Conocimiento cognitivo
Adolescencia temprana y media	<p>Emplea más pensamientos complejos enfocados a la toma individual de decisiones, tanto en el hogar como en la escuela. Se evidencia el uso gradual de operaciones lógicas formales en actividades escolares.</p>
	<p>Comienza a formar y a hablar con pensamientos propios, además, elabora puntos de vista sobre una variedad de temas. Expande su pensamiento para incluir inquietudes más filosóficas y futurísticas.</p>
	<p>Cuestiona de forma más extensa y de manera más frecuente analiza con mayor complejidad. Piensa acerca de y comienza a considerar sistemáticamente posibles metas futuras.</p>
	<p>Comienza a hacer sus propios planes y empieza a pensar a largo plazo.</p>
	<p>Utiliza el pensamiento sistemático para influenciar sus relaciones con los demás.</p>

Nota. Tomado de Raymond Paris, Ricardo y Johnson (2021)

6.2.2 Intervención pedagógica y selección de participantes

Como se hace referencia en el apartado anterior (6.2.1), la investigación inició con un grupo de 30 estudiantes de grado noveno. Este grupo, durante tres sesiones de una hora y dentro de su horario escolar, recibieron intervención pedagógica orientada a la apropiación de los conceptos de eficacia -eficiencia de artefactos (PT) y del concepto de ley de gravedad (PC). Dicha intervención consistió en primer lugar definir los conceptos, establecer elementos y relaciones y, finalmente, llevar dichos conceptos a manifestaciones de la cotidianidad. Posterior a la finalización de la intervención

pedagógica, en una cuarta sesión se aplicó el “Test Escrito de Comprensión del Concepto” (6.3.1.1) con el fin de seleccionar 24 estudiantes con puntuales superiores o iguales al 80 por ciento de aciertos tanto en PC como en PT para realizar el registro EEG. En un principio se concibió la posibilidad de no obtener la totalidad de estudiantes que cumplieran el criterio, de ahí prever una segunda intervención, sin embargo, este no fue el caso, al contrario, 27 estudiantes alcanzaron el puntaje requerido en ambas pruebas. De dicho grupo fueron seleccionados los 24 puntajes más altos.

6.2.3 Criterios de Inclusión

- El participante debe ser estudiante del Colegio Técnico Tomas Rueda Vargas y estar cursando grado noveno.
- La edad del participante debe estar entre los 13 y los 15 años.
- El participante debe estar física y mentalmente sano.

6.2.4 Criterios de Exclusión

- En este estudio, los participantes son excluidos cuando no logran proporcionar consentimiento por escrito firmado por parte del acudiente legal del estudiante.
- En el caso de contar con consentimiento, el participante es excluido si no aprueba el test escrito de comprensión del concepto de eficacia -eficiencia de artefactos (PT) y del concepto de ley de gravedad (PC) transcurridos 3 intentos no consecutivos.

- El caso de aprobar el test, no hacer parte de los 12 mejores puntajes en la prueba.

6.2.5 Aprobación Ética

El presente estudio cuenta con el aval del Comité de Ética en Investigación de la Universidad Pedagógica Nacional (Anexo B). Cabe agregar que la Información suministrada a los acudientes legales de los estudiantes respecto al estudio y los formularios de consentimiento se encuentra en el Anexo A.

6.3 Procedimientos

Con el fin de caracterizar al PC y al PT en el marco de la actividad cortical del cerebro y de allí, posterior al análisis, plantear posibles relaciones (similitudes o diferencias) entre el PC y el PT, la investigación se desarrolló en tres (3) momentos:

- Diseño y validación de pruebas
- Selección de participantes e intervención pedagógica
- Recolección de datos

Diseño de pruebas. El diseño tanto de pruebas como de las actividades supuso un reto importante en la medida en que tanto el PT como el PC, desde la teoría, comparten los mismos mecanismos cognitivos como cualquier otro tipo de actividad mental, sin embargo, estos son combinados en formas que son específicas para una situación particular (Dunbar y Klahr, 2012; Skekun, 1981).

De lo anterior, y como se ha señalado en el marco teórico, tanto para el PC como para el PT subyacen un amplio conjunto de procesos cognitivos, muchos de ellos compuestos por otros subprocessos, por lo que para el presente estudio se eligió la elaboración y contrastación de hipótesis para propiciar el PC y la evaluación de resultados (Eficacia y/o eficiencia) para propiciar el PT.

Los dos procesos cognitivos seleccionados, se eligieron principalmente por que responden a los siguientes criterios: son diferenciales tanto para el PC como para el PT (Tabla 3 – Contraste), son procesos que pueden ser identificados a muy temprana edad y dadas sus características es posible combinar ambos enfoques con el fin de implementar de pruebas.

por su capacidad para diferenciar los tipos de pensamiento científico y tecnológico. Mientras que la ciencia se enfoca en contrastar hipótesis para trabajar con leyes, la tecnología se orienta hacia la verificación de leyes y normas para evaluar la eficacia y eficiencia, como se detalla en la Tabla 3. En este sentido, la prueba de hipótesis es un proceso central en el ámbito científico, ya que permite desarrollar y validar leyes, mientras que en el contexto tecnológico, la evaluación de resultados es crucial para medir la eficacia y eficiencia de las soluciones, como se ilustra en las Tablas 3 y 10. Gracias a estas características distintivas, es posible combinar ambos enfoques, lo que facilita la implementación de pruebas integradas. Por otro lado, cabe agregar, que entre las razones más destacadas por las cuales se escogió la elaboración y el contraste de hipótesis en objetos que caen y la evaluación de eficacia y eficiencia en objetos tecnológicos se consideran:

- Gweon y Shultz (2011, como se citan en Furman, 2016), en estudios con bebés mostraron que los niños eran capaces de evaluar dos hipótesis alternativas a la luz de la evidencia disponible. Estos hallazgos muestran que la capacidad de hipotetizar y contrastar hipótesis está presente desde edades tempranas.
- Kevin Dunbar y Klahr (2012) indican que probar hipótesis específicas predichas por teorías es uno de los atributos clave del PC.
- Dehaene (2019), citando a Joshua Tenenbaum, del MIT (Massachusetts Institute of Technology), propone que los bebés cuentan con un modelo mental del comportamiento de los objetos y descubren de manera temprana, lo que es probable o físicamente posible, experimentando constantemente con la gravedad y la caída de los objetos.
- Los bebés a temprana edad cuentan con un saber considerable acerca del mundo que los rodea; solo falta algunos meses para que comprendan cómo se sostienen dos objetos el uno al otro (Baillargeon, Needham y Devos, 1992; Hespos y Baillargeon, 2008 como se cita en Dehaene, 2019). Pese a que, al principio, los bebés ignoran que un objeto se cae cuando lo sueltan, gradualmente toman conciencia de los factores que causan que un objeto caiga o no (Dehaene, 2019). Ciertamente, el cerebro de los lactantes ya conoce las leyes de la física: “espera que la trayectoria de un objeto, tanto en el espacio como en el tiempo, sea continua, sin desapariciones ni saltos repentinos” (Dehaene, 2019, P. 88). Lo anterior sugiere que a muy temprana edad los seres humanos cuentan con una noción primaria de la fuerza de gravedad y de otros fenómenos.

- Evaluar es una acción obligada posterior a la construcción de cualquier objeto tecnológico incluso en situaciones donde la construcción proviene de modelos previamente testeados. Un objeto tecnológico debe tener como premisa cumplir el fin para el cual fue creado y es mediante la evaluación que se determina si cumple dicho objetivo (eficacia).
- La evaluación de herramientas y construcciones ha sido uno de los pilares de la cultura tecnológica acumulativa pues ha permitido mejorar las herramientas a lo largo de generaciones en función de la necesidad y la economía, de esta forma solo se han transmitido las más eficaces y eficientes (Osiurak et al., 2020; Vaesen, 2012).
- Zimmerman (2007) señala que, cuando los niños experimentan, por lo general pretenden generar un resultado, producir un efecto y ver si ese algo funciona, a cambio de probar una idea para ver si es correcta y comprender lo que ocurre.

Las consideraciones hasta aquí presentadas sugieren que tanto hipotetizar respecto al mundo natural, como evaluar el funcionamiento de objetos, se manifiesta a edades muy tempranas y no requiere procesos de maduración como otros procesos cognitivos. Ahora bien, esto no significa que estos no se hagan más sofisticados con la edad, el aprendizaje y la experiencia. Sugieren, además, que desde muy joven el humano construye una explicación del mundo que lo rodea a partir de una interpretación primigenia de las leyes de la física. Es así como estos dos procesos cognitivos (hipotetizar y evaluar eficiencia y eficacia), dadas sus características y manifestaciones, son propicios para la

caracterización del PT y el PC pues su manifestación temprana puede, en cierta manera, garantizar un determinado nivel de apropiación en la adolescencia.

En el marco de lo anterior, se eligió el concepto de eficacia -eficiencia de artefactos para propiciar el proceso cognitivo de evaluar, y el concepto de caída libre para propiciar el proceso cognitivo de hipotetizar y contrastar hipótesis. En consecuencia, se diseñaron dos tipos de pruebas, el primer tipo orientado a la selección de participantes en función de la apropiación de conceptos y el segundo tipo enfocado a propiciar elementos propios del PT, del PC y del PTC. A continuación, se describen de manera detallada los dos tipos de prueba.

6.3.1.1 Test Escrito de Comprensión del Concepto de Eficacia -Eficiencia de Artefactos (PT) y del Concepto de Ley de Gravedad (PC). Con el fin de seleccionar a los 24 estudiantes para el proceso de registro EEG en el marco de su capacidad de probar y generar hipótesis referidas al fenómeno de la gravedad y, además, su capacidad de evaluar la eficacia y la eficiencia de un objeto, se diseñó una prueba escrita de lápiz y papel para evaluar la apropiación de los conceptos de eficacia -eficiencia de artefactos (pt) y del concepto de ley de gravedad (pc), de 24 preguntas (14 para el PC y 10 para el PT) con respuesta múltiple de 3 opciones .

La prueba fue sometida a un proceso de validación mediante el juicio de 6 expertos (tres para PC y tres para PT), los cuales fueron seleccionados en función de su experiencia tanto en el tema como en el grado escolar de los estudiantes a evaluar. Cada uno de ellos fue invitado a participar de forma voluntaria en el proceso de validación

mediante carta formal vía correo electrónico (Anexo C). además, se adjuntó el matriz de evaluación y las respectivas pruebas según área de dominio (Anexo D). En cuanto al proceso de validación, se le solicito a los expertos diligenciar la matriz de evaluación, valorando la prueba otorgándole a cada uno de los ítems que la compone, un puntaje de 1 a 4, indicando su grado de acuerdo en función a tres criterios: claridad, coherencia y pertinencia. Posterior a la recepción de las seis matrices de evaluación (Anexo E), se tabularon los datos y se obtuvo el coeficiente de validez de contenido (CVC) (Hernández-Nieto, 2002a, 2002b). Los niveles de aceptación se presentan a continuación:

- Menor que .60, validez y concordancia inaceptables.
- Igual o mayor de .60 y menor o igual que .70, validez y concordancia deficientes.
- Mayor que .70 y menor o igual que .80, validez y concordancia aceptables.
- Mayor que .80 y menor o igual que .90, validez y concordancia buenas."
- Mayor que .90, validez y concordancia excelentes.

Con base a lo anterior, se calculó el CVC para cada una de las preguntas evaluadas, los resultados se presentan en la Tabla 16 y en la Tabla 17.

Tabla 16
Coeficiente de validez de contenido (CVC) para PC.

Pregunta	exp1	exp2	exp3	Sx1	Mx	cvc	pei	cvcjc
p1	13	15	11	39	2.438	0.813	0.037	0.775
p2	8	16	8	32	2	0.667	0.037	0.63
p3	12	16	16	44	2.75	0.917	0.037	0.88
p4	12	15	10	37	2.313	0.771	0.037	0.734
p5	16	16	16	48	3	1	0.037	0.963
p6	8	16	10	34	2.125	0.708	0.037	0.671
p7	12	10	16	38	2.375	0.792	0.037	0.755
p8	8	16	16	40	2.5	0.833	0.037	0.796
p9	16	16	16	48	3	1	0.037	0.963
p10	16	16	10	42	2.625	0.875	0.037	0.838
p11	12	16	16	44	2.75	0.917	0.037	0.88
p12	16	16	16	48	3	1	0.037	0.963
p13	16	16	16	48	3	1	0.037	0.963
p14	16	16	10	42	2.625	0.875	0.037	0.838
CVC de la prueba								0.832

Nota. Elaboración propia.

Tabla 17
Coeficiente de validez de contenido (CVC) para PT.

pregunta	exp1	exp2	exp3	Sx1	Mx	cvc	pei	cvcjc
p1	16	16	15	47	2.938	0.979	0.037	0.942
p2	16	14	16	46	2.875	0.958	0.037	0.921
p3	16	16	15	47	2.938	0.979	0.037	0.942
p4	16	16	16	48	3	1	0.037	0.963
p5	15	16	16	47	2.938	0.979	0.037	0.942
p6	16	16	15	47	2.938	0.979	0.037	0.942
p7	16	16	16	48	3	1	0.037	0.963
p8	16	16	15	47	2.938	0.979	0.037	0.942
p9	16	16	16	48	3	1	0.037	0.963
p10	16	16	16	48	3	1	0.037	0.963
CVC de la prueba								0.948

Nota. Elaboración propia.

Como se puede apreciar en la tabla 16, las preguntas (p2 y p6) muestran un nivel deficiente y dos más (p4 y p7) en nivel aceptable. Con la intención de aumentar el CVC de la prueba para PC (concepto de ley de gravedad) y equilibrar el número de preguntas con la prueba PT, se eliminaron dichas preguntas aumentando el CVC de la prueba PC a 0.86. Finalmente, el **Test Escrito de Comprensión del Concepto de Eficacia - Eficiencia de Artefactos (PT) y del Concepto de Ley de Gravedad (PC)** posterior al proceso de validación puede ser revisado en el Anexo F.

6.3.1.2 Actividades escolares. Con la finalidad de propiciar una respuesta eléctrica a nivel de corteza cerebral que pueda ser registrada mediante EEG, que sea originada por actividades escolares propias del PC y del PT y de ambas combinadas (PTC), y que además fuese consecuente con la capacidad de evaluar e hipotetizar, se construyeron 3 bloques de actividades escolares (correspondientes a cada uno de los pensamientos a propiciar) mediante el uso de Power Point (opción básica análoga al software especializados como E – prime). En relación con los bloques de actividades, estos fueron contruidos con base en:

- El test de razonamiento mecánico sobre uso de herramientas simples (Newton, 2007).
- La batería psicotecnias multivariabes la NV7 (Bernaud et al., 1994) que es utilizada para evaluar la comprensión sobre las propiedades física de herramientas y materiales (Federico et al., 2022).

- Las pruebas implementadas por Fugelsang, Roser, Corballis, Gazzaniga, y Dunbar, (2005) donde se utilizaron bloques alternos de eventos causales en los que una pelota choca y provoca el movimiento de otra pelota, versus eventos no causales en los que una brecha espacial o temporal precede al movimiento de una segunda pelota.
- Las pruebas utilizadas en investigaciones afines (Dunbar y Fugelsang, 2005a; (Dunbar y Fugelsang, 2005b; Osiurak y Badets, 2016; Malik y Amin ,2017).

Al respecto, cada uno de los tres bloques estuvo conformado por 4 tareas de orden visual (12 tareas en total), cada una compuesta por una pregunta y 7 de ellas con opciones visuales de respuesta múltiple. Las características de las 12 tareas son descritas más adelante.

Por otro lado, utilizando el mismo procedimiento que en el test escrito de comprensión (apartado 6.3.1.1), las 12 tareas fueron sometidas a un proceso de validación mediante el juicio de tres (3) expertos en el área de la cognición, psicología y neuropsicología, los cuales fueron seleccionados en función de su experiencia tanto en el tema como su labor en el campo de la investigación. Cada uno de ellos fue invitado a participar de forma voluntaria en el proceso de validación mediante carta formal vía correo electrónico (Anexo G). Además, se adjuntó el matriz de evaluación y las 12 tareas a evaluar (Anexo H). En cuanto al proceso de validación, se le solicitó a los expertos diligenciar la matriz de evaluación, valorando la prueba otorgándole a cada uno de los

ítems que la compone, un puntaje de 1 a 4, indicando su grado de acuerdo en función a tres criterios: claridad, coherencia y pertinencia. Posterior a la recepción de las tres matrices de evaluación (Anexo I), se tabularon los datos y se obtuvo el coeficiente de validez de contenido (CVC) (Hernández-Nieto, 2002a, 2002b). Los niveles de aceptación son descritos en el apartado anterior.

Conforme a los valores obtenidos de las matrices diligenciadas por expertos se obtuvo CVC de las 12 actividades, los resultados se presentan a continuación (Tabla 18):

Tabla 18

Coficiente de validez de contenido (CVC) para las tareas cognitivas.

Actividad	exp1	exp2	exp3	Sx1	Mx	CVCi	Pei	CVCtc
pc1	20	20	20	60	3	1	0.037	0.963
pc2	20	20	18	58	2.9	0.967	0.037	0.93
pc3	20	20	17	57	2.85	0.95	0.037	0.913
pc4	15	20	16	51	2.55	0.85	0.037	0.813
pt1	20	20	20	60	3	1	0.037	0.963
pt2	16	20	20	56	2.8	0.933	0.037	0.896
pt3	20	20	16	56	2.8	0.933	0.037	0.896
pt4	20	20	15	55	2.75	0.917	0.037	0.88
ptc1	20	20	18	58	2.9	0.967	0.037	0.93
ptc2	12	12	10	34	2.833	0.944	0.037	0.907
ptc3	20	20	20	60	3	1	0.037	0.963
ptc4	20	20	18	58	2.9	0.967	0.037	0.93
CVC de la actividad en conjunto								0.915

Nota. Elaboración propia.

Se puede apreciar que el nivel de validez y concordancia de las actividades evaluadas se encuentra entre un nivel bueno y excelente. El CVC de la actividad en conjunto es 0.915, ubicando la prueba en un nivel de validez y concordancia excelente.

De acuerdo con lo anterior se decide aplicar y organizar las actividades en concordancia con las algunas sugerencias de los evaluadores de las cuales se destacan el cambio de orden de las 4 primeras actividades escolares. A continuación, se presentan de manera detallada la configuración de cada una de las tareas y el orden de su aplicación.

6.3.1.3 Actividad científica escolar ACE. Este bloque estuvo conformado por las siguientes tareas:

Tarea PC1 y PC2: compuesta por dos elementos, un texto (en color negro, fuente calibri tamaño 18 sobre fondo blanco) ubicado en el área superior, el cual hace referencia a una acción solicitada al participante y un conjunto de imágenes en el área inferior que se relacionan con el texto. Las tareas fueron diseñadas para que el usuario, en función de su apropiación del concepto de caída libre, hipotetice y seleccione una opción. En la Figura 5 se presenta la Tarea PC1 como ejemplo.

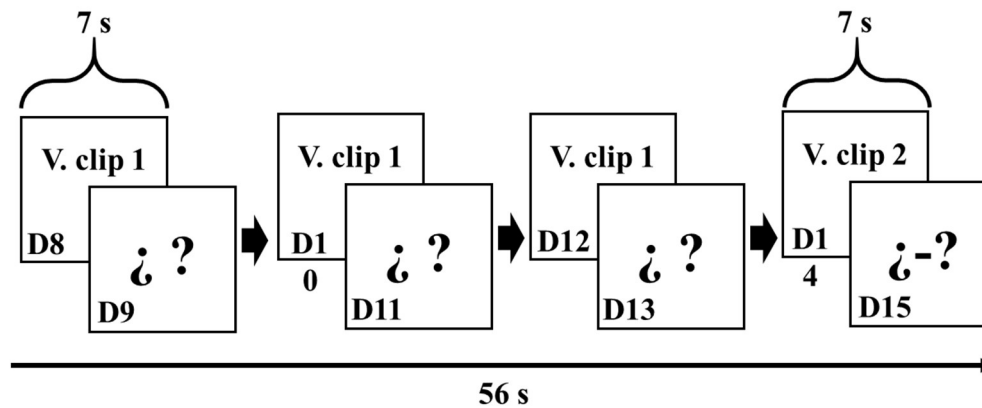
Figura 5*Tarea PC1 del bloque de ACE*

Nota. Elaboración propia.

Tarea PC3: Constituida por dos videos clips. El primero, presenta en cámara lenta (60 cuadros por segundo) como una esfera de color naranja se deja caer desde una determinada altura al suelo. El segundo, presenta en cámara lenta (60 cuadros por segundo) la misma esfera de color naranja cayendo al suelo con la diferencia que al llegar a la mitad del recorrido en cambio de caer asciende. La tarea es presentada en la pantalla de ordenador mediante ocho (8) diapositivas. En la primera se reproduce el video clip número uno (donde la esfera cae al suelo), en la siguiente, mediante texto (en color negro, fuente calibri tamaño 18 sobre fondo blanco) se le solicita al participante que piense ¿cuál es la razón por la que pelota cae? Esta secuencia se repite en las diapositivas diez-once y doce-trece respectivamente. En el número catorce se reproduce el video clip numero dos (donde la esfera asciende en la mitad del recorrido), en la siguiente diapositiva se le pide al participante que piense ¿cuál es la razón por la que pelota no cae?

Figura 6

Estructura secuencial de la tarea PC3 para el bloque de ACE.



Nota. Elaboración propia

Respecto al objetivo de esta tarea, se busca contrastar una hipótesis a partir de la reafirmación de un evento de manera repetitiva con un evento inverosímil. Se pretende que el estudiante identifique en un primer momento la acción de la fuerza de gravedad sobre una esfera que se suelta desde una determinada altura en caída libre, posteriormente se espera que reitere dicho comportamiento dos veces más, pero en una cuarta ocasión se contradecirá la predicción y el estudiante se encontrará en la posición de plantear una nueva hipótesis frente a la esfera que no cae, en comparación a las anteriores tres, pese a que en todas actúa la ley de gravedad

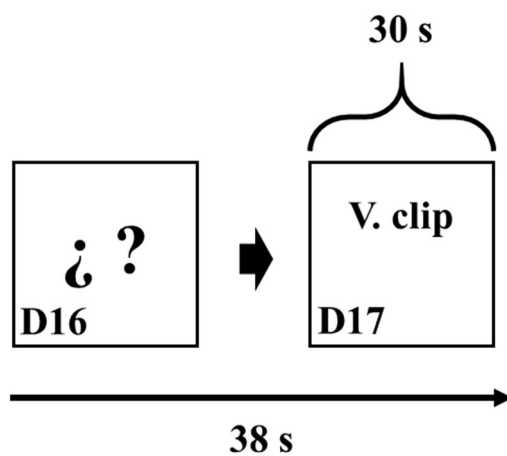
Tarea PC4: estar constituida por dos diapositivas, en la primera se le solicita al participante mediante texto (en color negro, fuente calibri tamaño 18 sobre fondo blanco) la siguiente acción: imagina que se deja caer desde una altura de 10 metros una pluma y una bola de jugar bolos al mismo tiempo; ¿Cuál llega primero al suelo? En la siguiente diapositiva se reproduce un video clip de 30 segundos donde se dejan caer una pluma y

una bola de jugar bolos al mismo tiempo en condiciones controladas (sin presencia de aire). El video clip se presenta en diferentes velocidades de reproducción y mediante varias tomas, mientras los dos objetos caen.

En esta tarea se pretende que el estudiante lleve un proceso de visualización mental donde construye el evento y simula la ley de gravedad, posterior a esta acción se espera contraste la hipótesis del resultado de su recreación mental del evento con la grabación de dicho evento en la vida real. En la Figura 7 se presenta la estructura secuencial de la Tarea 4.

Figura 7

Estructura secuencia Tarea PC4 Bloque ACE.



Nota. Elaboración propia

6.3.1.4 Actividad tecnológica escolar ATE. Este bloque estuvo constituido por 4 tareas que se presentan a continuación:

Tarea PT1 y PT2: Cada una compuesta por dos elementos, un texto (en color negro, fuente calibri tamaño 18 sobre fondo blanco) ubicado en el área superior, el cual hace referencia a una acción solicitada al participante y un conjunto de imágenes en el área inferior que se relacionan con el texto y difieren en la cantidad de elementos que las componen. Las tareas fueron elaboradas para que el usuario, en función de su apropiación del concepto de eficiencia, seleccione una opción de las tres que se le presentan. A continuación, se presenta la Tarea 1 (Figura 8) del bloque de ATE.

Figura 8

Tarea PT1 para el bloque de ATE.



Nota. Elaboración propia

Tarea PT3 y PT4: Cada una compuesta por dos elementos, un texto (en color negro, fuente calibri tamaño 18 sobre fondo blanco) ubicado en el área superior, el cual

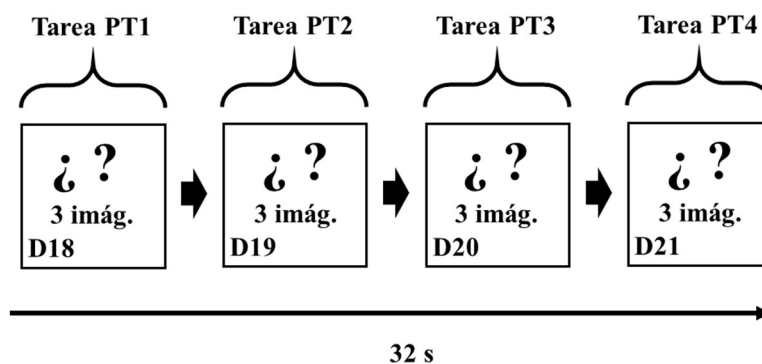
hace referencia a una acción solicitada al participante y un conjunto de imágenes en el área inferior que se relacionan con el texto y difieren en sus características de uso. Estas dos tareas fueron concebidas para que el usuario, en función de su apropiación del concepto de eficacia, seleccione una opción de las tres que se le presentan.

En general, el bloque de tareas ATE fue implementado para que, en principio, el estudiante reconozca la forma, dimensiones, composición y funcionalidad de los objetos tecnológicos presentados visualmente en las cuatro tareas y determine, en el caso de la tarea uno y dos, cuál está en la capacidad de realizar la acción planteada con una mayor economía de recursos y, en el caso de las tareas tres y cuatro, cuál de los objetos tecnológicos presentados es más eficaz para una tarea específica. Es de resaltar que estas tareas se diseñaron para que el participante abstraiga las propiedades físicas de los objetos presentados y pueda aprovechar estas en la generación mental de la acción mecánica que se demanda (Osiurak, 2020).

La Figura 9 muestra los tiempos de cada tarea y la estructura de ejecución

Figura 9

Estructura secuencial del bloque de pruebas para el PT.



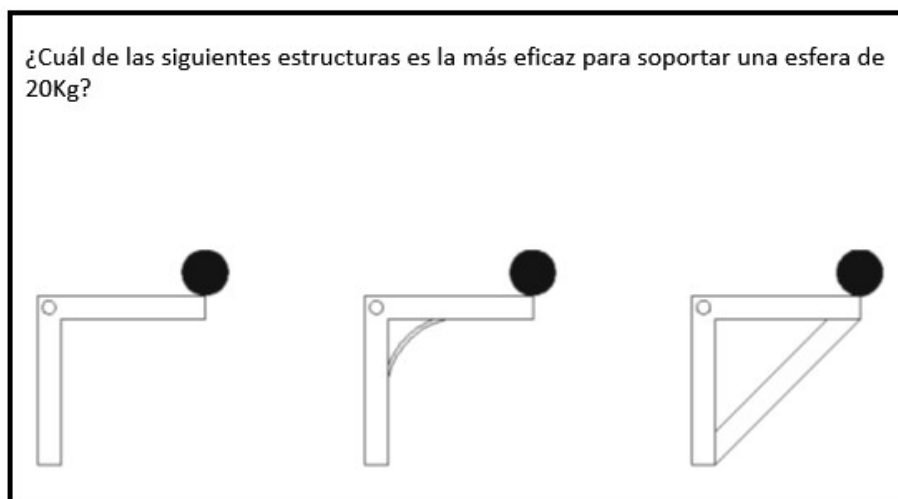
Nota. Elaboración propia

6.3.1.5 Actividad tecno-científica escolar ATCE. Para propiciar de forma simultánea tanto el PT como el PC, se elaboró un bloque de cuatro tareas de orden visual. Estas se describen a continuación:

Tarea PCT1, PCT3 y PTC4: Cada una compuesta por dos elementos, un texto (en color negro, fuente calibri tamaño 18 sobre fondo blanco) ubicado en el área superior, el cual hace referencia a una acción solicitada al participante y un conjunto de imágenes en el área inferior que se relacionan con el texto y difieren en la cantidad de elementos o en la configuración de los elementos que las componen. Las tareas fueron elaboradas para que el usuario, en función de su apropiación de los conceptos de caída libre, eficacia y eficiencia, seleccione una opción de las tres que se le presentan. Se presenta la Tarea 3 (Figura 10) del bloque de ATE como ejemplo.

Figura 10

Tarea 1 del bloque de ATE



Nota. Elaboración propia.

Tarea PTC2: A diferencia de las tareas descritas anteriormente, esta solo está compuesta por un texto (en color negro, fuente calibri tamaño 18 sobre fondo blanco) ubicado en el área central, el cual hace referencia a una acción solicitada al participante. La tarea se concibió para que el participante, en función de su apropiación de los conceptos de caída libre, eficacia y eficiencia, de una respuesta a la pregunta formulada mediante una simulación metal de la situación planteada.

En líneas generales, las tareas implementadas en este bloque, tuvieron el fin de propiciar en el estudiante la generación de hipótesis (pc) y la evaluación interna (eficacia -eficiencia) de artefactos tecnológicos en cuatro situaciones diferentes que implican la acción de la fuerza de gravedad. En la Tarea 3 se espera que el estudiante cree la imagen mental de un artefacto tecnológico que contrarreste la acción de la gravedad; esta acción implica abstraer las características físicas del objeto que se coloca en caída libre y en función de estas diseñe un objeto cuyas características físicas y de funcionamiento sean congruentes con el problema planteado. En cuanto al resto de tareas se espera que, en un principio, el estudiante reconozca forma, dimensiones, composición y funcionalidad de los objetos tecnológicos presentados visualmente y determine, cuál de las opciones presentadas está en la capacidad de realizar la acción planteada con una mayor economía de recursos.

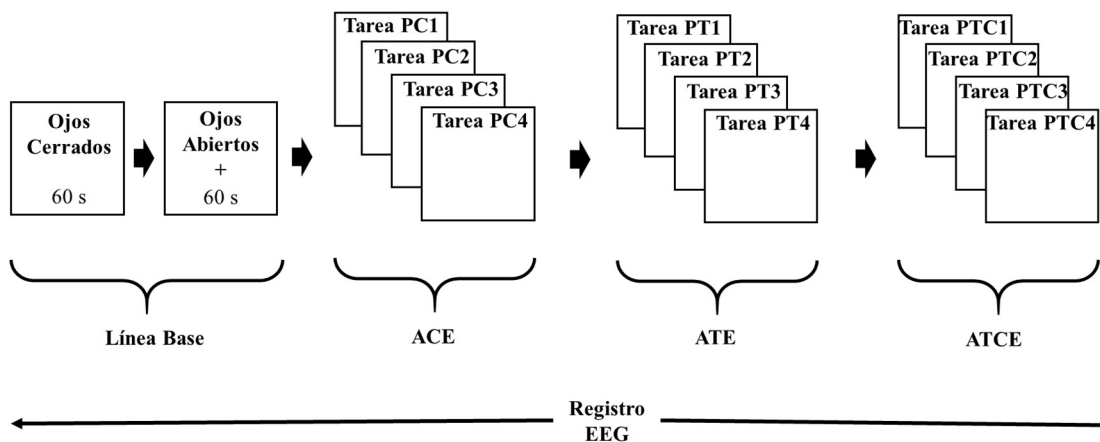
Por otra parte, en relación a su estructura secuencial comparte la misma configuración que el bloque de ATE. Respecto a los tres bloques de tareas completos, estos pueden consultarse en el Anexo J.

6.3.2 *Recolección de datos*

6.3.2.1 Protocolo. Previa entrega del consentimiento informado firmado por los acudientes de cada uno de los estudiantes participantes en el estudio, se solicitó a cada uno de estos, en horarios diferenciados, llegar al laboratorio de investigación y desarrollo (LID) ubicado en las instalaciones del Colegio Técnico Tomas Rueda Vargas. Posterior a su llegada, se les informó sobre la prueba, sobre las condiciones de la misma, se les explicó el funcionamiento del auricular de registro EEG y se les solicitó que minimizaran al máximo cualquier movimiento físico, tanto como les fuera posible, mientras tuviesen puesto el auricular y se estuviesen desarrollando las pruebas.

Al respecto, estas se llevaron a cabo después del posicionamiento del auricular en la cabeza del participante y previa configuración del mismo en el PC. Posteriormente, se verificó, vía software (EmotivPro), la calidad de registro de cada uno de los canales y se inició con las pruebas y el registro en el momento que el participante manifestó estar preparado. El participante estuvo posicionado de manera cómoda, sentado frente a una pantalla de ordenador de 15” con resolución HD (1366 x 768 pixeles) a una distancia adecuada para la lectura de texto en un ordenador. El recinto experimental estuvo aislado a estímulos auditivos y se redujeron los estímulos visuales mediante paneles de color blanco tanto detrás de la pantalla del ordenador como en las áreas laterales.

El procedimiento estuvo constituido por cuatro condiciones secuenciales asistidas por ordenador durante las cuales se realizó la recolección de datos EEG, las cuales fueron: línea base, ACE, ATE y ATCE.

Figura 11*Estructura secuencial de la prueba.**Nota.* Elaboración propia.

La línea base es una condición de control o referencia que se llevó a cabo en estado de reposo con los participantes sentados durante 60 segundos, con los ojos cerrados, con las manos con las palmas hacia abajo sobre sus muslos, en estado de relajación y con control consciente de la respiración. Finalizado el intervalo de tiempo, mediante una señal acústica breve, el participante debía abrir sus ojos y fijar la mirada en la pantalla, la cual muestra un elemento estático (signo +), procurando un mínimo de movimientos oculares o de parpadeos durante un lapso de 60 segundos.

La segunda (ACE), tercera (ATE) y cuarta (ATCE) condición estuvieron constituidas por los bloques de tareas visuales cuyas características se describieron en el apartado anterior. Es de resaltar que cada uno de los bloques de tareas se ejecutó de manera automática, a partir de tiempos establecidos en cada una de las diapositivas, con el propósito de evitar que el participante tuviese que intervenir de manera motora durante la prueba.

Durante la prueba se llevó control de cada uno de los estímulos realizando marcas (llamados eventos dentro del procesamiento) en el inicio y durante el cambio de cada uno de los estímulos con el fin de registrar y contrastar los posibles tiempos empleados por el PC en la presentación de las diapositivas. Al finalizar todas las tareas se obtuvieron 3 archivos por participante: 1 con los registros totales de los electrodos en formato EDF, 1 con los mismos datos en formato CVC y 1 un tercer archivo con las marcas realizadas en formato CVC. En consonancia con los compromisos éticos planteados para este estudio, los archivos fueron guardados en un solo repositorio con identificaciones numéricas, haciendo referencia únicamente al género por cuestiones de equidad en el número de participantes.

6.4 Instrumentos

6.4.1 *Software y Hardware*

En este estudio, los datos de EEG se registraron usando los auriculares emotiv epoc x de 16 sensores (14 de registro y 2 de referencia) con el software de adquisición (EmotivPro) del fabricante. Los datos adquiridos fueron procesados en Brainstorm de Matlab para retirar artefactos como parpadeo y movimiento ocular (entre otros), posteriormente los datos fueron procesados en esta misma aplicación mediante sus herramientas de análisis estadístico y su módulo Slorete para la extracción de características y ubicación de fuentes. Los detalles del hardware y los softwares se proporcionan a continuación.

6.4.1.1 Auriculares Emotiv Epoc X. Se trata de un dispositivo portátil de registro EEG constituido por 16 sensores posicionados de acuerdo con el sistema internacional 10–20, 14 para obtener la señal y 2 de referencia. Es de resaltar que los sensores no requieren preparación de la piel, en cambio, para obtener una mejor conductividad y una señal EEG más fuerte, se emplea solución electrolítica (solución salina ocular). El dispositivo, posterior a su activación, envía los datos de manera inalámbrica al ordenador, por medio de un receptor USB, permitiendo así, mediante el software suministrados por el fabricante, el almacenamiento de datos para su posterior procesamiento. Entre otras características esta su capacidad de registro durante de 12 horas continuas, si su batería se encuentra completamente cargada.

En la Tabla 19 son presentadas de forma detallada, las especificaciones de dicho equipo de adquisición.

Tabla 19
Especificaciones técnicas sistema Emotiv – Epoc+

Categoría	Descripción
Tipo de registro	Superficial
Sensores EEG (14 canales - 2 referencias)	AF3, F7, F3, FC5, T7, P7, O1, O2, P8, T8, FC6, F4, F8, AF4 - referencia CMS/DRL en P3/P4; proceso mastoideo izquierdo/derecho alternativo
Material del sensor	Almohadillas de fieltro empapadas en solución salina
Conectividad Inalámbrica	Bluetooth Low Energy - Bluetooth 5.0
Receptor USB propietario USB	Banda de 2.4GHz para cambiar configuraciones del auricular y Extender
Señales EEG	
Método de muestreo	Muestreo secuencial, único ADC
Tasa de muestreo	2048 interno, reducido a 128 SPS o 256 SPS (configurable por el usuario)
Resolución	LSB = $0.51\mu\text{V}$ (modo de 14 bits), $0.1275\mu\text{V}$ (modo de 16 bits)
Ancho de banda	0.16 – 43Hz, filtros notch digitales en 50Hz y 60Hz

Categoría	Descripción
Filtrado	Filtro Sinc digital de 5to orden incorporado
Rango dinámico	8400 μ V(pp)
Modo de acoplamiento	Acoplado en AC
Parte IMU	ICM-20948
Cuaterniones	Normalizados, 4D
Resolución	16 bits
Comandos Mentales	Neutro + hasta 4 ítems pre-entrenados por perfil de entrenamiento
Métricas de Rendimiento	Excitación, Compromiso, Relajación, Interés, Estrés, Enfoque
Expresiones Faciales	Parpadeo, Guiño I/D, Sorpresa, Ceño fruncido, Sonrisa, Apretar, Risa, Mueca I/D
Batería	Batería interna de polímero de litio 595mAh
Duración de la batería	Hasta 12 horas usando receptor USB, hasta 6 horas usando Bluetooth Low Energy
Peso	170g
Dimensiones	9 x 15 x 15 cm

Nota. Características suministradas por el proveedor del equipo

Es importante señalar que el sistema de registro ha sido anteriormente utilizado en investigaciones en el campo y en la implementación de interfaces cerebro computador (BCI por sus siglas en inglés) (Camelo et al., 2015; Hope y Ca, 2016; Insight, 2018; Muñoz Cardona y Eléctrica, 2014) arrojando resultados satisfactorios en su desempeño. Es de resaltar que, pese a sus prestaciones, el Emotiv Epoc X no se considera un dispositivo de orden médico.

6.4.1.2 EmotivPro. Es uno de los software suministrado por el fabricante del auricular en versión para investigación (Emotiv epocX) para la adquisición y visualización y visualización de los diferentes canales . El software permite grabar el registro en formato EDF (por sus sigla en inglés European Synchrotron Radiation Facility Data Format),

formato que se utiliza con regularidad es el registro de señales EEG y que tiene como cualidad principal su compatibilidad con software de post procesamiento como Brainstorm, EEGLab , WinEEG o Openvibe.

6.4.1.3 Brainstorm. es una plataforma de software de código abierto para el análisis y visualización de datos cerebrales como MEG, EEG, y fNIRS. Destaca por su interfaz amigable y por sus funciones para la creación de scripts y diseño de pipelines para apoyar análisis neuroimagenológicos complejos, incluyendo localización de fuentes, análisis de conectividad y pruebas estadísticas. El software se actualiza frecuentemente y cuenta con el respaldo de una amplia comunidad de usuarios y desarrolladores. Está disponible como un ejecutable independiente, por lo que no requiere una licencia de MATLAB, aunque su desarrollo se realiza utilizando MATLAB y Java. Es una herramienta ampliamente adoptada en la comunidad de neuroimagen, respaldada por una sólida documentación y recursos educativos (Tadel, Baillet, Mosher, Pantazis, & Leahy, 2011).

Es de resaltar que este software permite mapear la actividad eléctrica en las distintas áreas del cerebro por secciones o cortes de acuerdo al atlas cerebral propuesto por Talairach y Tournoux (1988) , además posibilita la ubicación de fuentes en función de diferentes parcelaciones cerebrales como las propuestas por el proyecto conectoma humano (HPC por sus siglas en inglés) (Glasser et. al, 2016).

6.5 Preprocesamiento de Datos.

Este proceso se considera obligatorio dada la naturaleza de la adquisición de datos realizada y a lo susceptible que es la técnica de registro empleada a contaminarse con diferentes tipos de artefactos. Este procedimiento incluyó eliminar artefactos y reducir el ruido originado por el parpadeo de ojos, los movimientos oculares, los latidos cardíacos y señales eléctricas de origen musculares. También incluyó la eliminación de canales defectuosos, la interpolación de canales para obtener datos faltantes y la aplicación de filtros para eliminar frecuencias no deseadas como las generadas por la red eléctrica (60, 120 y 180 Hz). Este pre procesamiento se llevó a cabo mediante el uso del software Brainstorm y se aplicó de forma cíclica a todos los participantes y a todos los registros, Seguidamente se describe de manera secuencial y detallada cada uno de los procesos empleados (Tabla 20).

Tabla 20

Fases implementadas para el procesamiento de datos.

importación	Anatomía	Se seleccionó de superficie de la cabeza a trabajar. Se seleccionó la anatomía predeterminada por el software, compuesta por 3 capas (cabeza, cráneo externo y cráneo interno) dado que el registro EEG no incluyó la adquisición de anatomía por participante.
	Enlace de registros	Se estableció un enlace desde Brainstorm a los registros en su repositorio original
preprocesamiento	Proyección esférica de electrodos	Para asegurarse de que todos los electrodos hagan contacto con la superficie de la piel se proyectaron los electrodos en la superficie del cuero cabelludo mediante el uso de coordenadas esféricas y el archivo de canales de registro
	Análisis espectral	Se cálculo la densidad espectral de potencia para identificar mediante exploración visual incongruencias en los valores registrados en los catorce canales registrados

Aplicación de filtros	Se aplicaron filtros notch en 50 , 60 Hz y a frecuencias armónicas , además un filtro pasa banda en el rango de las frecuencias de interés que se encuentran en el rango de 0.5 a 45 Hz.
identificación de canales malos	Se realizo una inspección manual de canales y se re-referenciaron los registros mediante referencia promedio
Detección de artefactos	Se identificaron los artefactos bien definidos, producto de parpadeo, latidos cardiacos y señales mioelectricas
análisis de componentes independientes	Se aplico un análisis de componentes independientes (ICA por sus siglas en inglés) para limpiar artefactos y otros componentes ajenos al registro
Remoción de segmentos malos	Se identificaron mediante software artefactos basados en RMS y removieron segmentos malos a partir de inspección visual y de manera manual.
Importación marcas	Se importaron las marcas realizadas durante el registro con el fin delimitar de manera precisa los fragmentos correspondientes a cada una de las tareas aplicadas
segmentación por épocas	Se extrajeron los fragmentos de grabación del registro en función de las marcas y la delimitación de tiempo de las 12 tareas

Nota. Elaboración propia

6.6 Localización de fuentes

Este procedimiento tuvo como objetivo estimar las corrientes cerebrales a partir de los registros EEG y mapear las regiones del cerebro involucradas en una respuesta o comportamiento asociada a un estímulo específico. Dicho proceso consistió en trasladar la información adquirida por medio de los electrodos, al espacio de la fuente, facilitando de este modo la discriminación entre las regiones cerebrales que contribuyen a la respuesta producto de un estímulo. Este procedimiento se llevó a cabo mediante un tipo de deconvolución (técnica matemática que se aplica para recuperar la señal o imagen

original) espacial de los datos obtenidos con los sensores y se calculó utilizando las herramientas con las que cuenta el software Brainstorm.

Al respecto, usando la anatomía cerebral que se importó en la etapa de preprocesamiento (aparte 6.5), y con una superficie de la corteza a 15 000 vértices, se computaron las fuentes usando Brainstorm bajo la siguiente configuración: imágenes de norma mínima (MN), con variante de imágenes de MN sLORETA y con modelo fuente restringido. En relación con esto, las imágenes MN estiman la amplitud de las fuentes cerebrales distribuidas en todo el cerebro o limitadas a la corteza. Frente a la variante sLORETA (enfoque estandarizado de tomografía electromagnética cerebral de baja resolución propuesto por Pasqual-Marqui (2002) los mapas de densidad de corriente predeterminados se normalizan con respecto a la covarianza de datos teórica, que se encuentra como la suma de la covarianza del ruido y un modelo de covarianza de la señal cerebral. En cuanto al modelo de fuente restringido (Normal a la corteza) los cálculos se realizan con los dipolos orientados de manera normal a la superficie cortical, para modelar la orientación de las macrocolumnas de neuronas piramidales perpendiculares a la corteza (Brainstorm, n.d.).

Como resultado de dicho cálculo se obtuvo un nuevo archivo correspondiente al mapa cerebral sincronizado en el tiempo de los datos procesados. El cálculo se realizó con todos los registros procesados correspondientes a 24 registros por tarea.

6.7 Pruebas Estadísticas

Con el fin de establecer si existen unas diferencias significativas entre la actividad cerebral registrada durante el estado de línea base (ojos abiertos) y una tarea específica, o dentro de dos momentos dentro de la misma tarea, se utilizó la prueba T Student (prueba paramétrica ampliamente utilizada para evaluar la diferencia entre las medias de dos variables aleatorias) dependiente para muestras relacionadas, de dos colas. Se aplicó un umbral estadístico, con nivel de significancia $\alpha=0,05$ y corrección de la tasa de falsos descubrimientos (FDR, por sus siglas en inglés). El test se implementó comparándolas en ambas condiciones, 180 áreas cerebrales (por cada hemisferio) delimitadas en la parcelación cerebral propuesta por el proyecto de conectoma humano (HCP por sus siglas en inglés) de Glasser et. al, (2016). Como resultado de la prueba, se obtuvo el tiempo y las regiones cerebrales con diferencias significativas entre cada uno de los pares de condiciones testeadas. A continuación (Tabla 21), se presenta el conjunto de datos comparados.

Tabla 21

Grupo de datos comparados.

T Student	Condición A	Condición B
Test 1	Línea base (ojos abiertos)	Bloque ACE (Tarea PC1)
Test 2	Línea base (ojos abiertos)	Bloque ACE (Tarea PC2)
Test 3	Bloque ACE (Tarea PC3E)	Bloque ACE (Tarea PC3EC)
Test 4	Bloque ACE (Tarea PC3R)	Bloque ACE (Tarea PC3RC)
Test 5	Línea base (ojos abiertos)	Bloque ACE (Tarea PC4H)
Test 6	Línea base (ojos abiertos)	Bloque ACE (Tarea PC4V)
Test 7	Línea base (ojos abiertos)	Bloque ATE (Tarea PT1)
Test 8	Línea base (ojos abiertos)	Bloque ATE (Tarea PT2)

T Student	Condición A	Condición B
Test 9	Línea base (ojos abiertos)	Bloque ATE (Tarea PT3)
Test 10	Línea base (ojos abiertos)	Bloque ATE (Tarea PT4)
Test 11	Línea base (ojos abiertos)	Bloque ATCE (Tarea PTC1)
Test 12	Línea base (ojos abiertos)	Bloque ATCE (Tarea PTC2)
Test 13	Línea base (ojos abiertos)	Bloque ATCE (Tarea PTC3)
Test 14	Línea base (ojos abiertos)	Bloque ATCE (Tarea PTC4)

Nota. Elaboración propia

7 Resultados

A continuación, se presentan y analizan los resultados para cada uno de los test realizados. Se muestran de manera grafica las diferencias encontradas en las regiones comparadas y se especifica el momento en términos de segundos donde se hallaron.

En cuanto al análisis, se realizó para cada uno de los instantes que registran diferencias significativas tomando las 3 regiones con valores t más altos que tuvieren valores mayores o iguales a $1 e-10$.

7.1 Bloque ACE

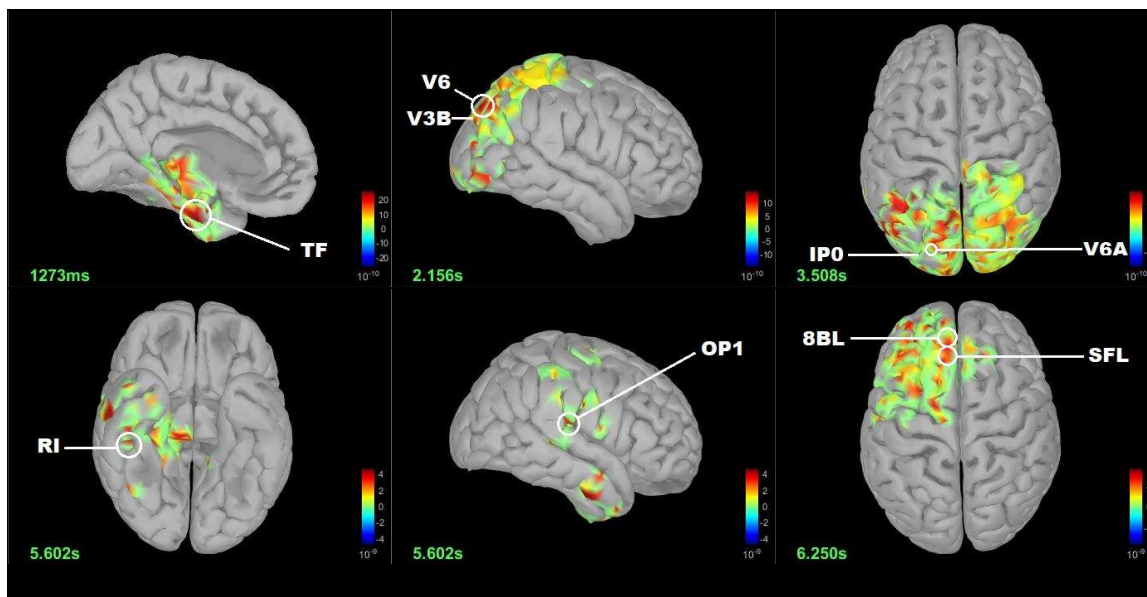
Las Figuras 12, 13, 14, 15, 16 y 17 presentan los resultados obtenidos para el test aplicado a las cuatro tareas de PC, a nivel de fuentes. En ellas se puede apreciar los instantes en términos de segundos y el área donde se presentan diferencias significativas en función de los test realizados (Tabla 21).

En relación con la tarea PC1, esta fue diseñada para propiciar tanto el procesamiento de información visual como espacial, la atención, la recuperación de memoria y la extracción de características durante el reconocimiento de objetos. Además, fue es de resaltar que la tarea fue configurada para evocar familiaridad y plantear una situación de movimiento generada por la acción de soltar. En contraste, los resultados (Figura 12) presentan actividad en la corteza parahipocampal (PH1,PH2), área que participa en el proceso visoespacial y la memoria episódica mediante el procesamiento de información contextual. En este mismo sentido, la región EC, muestra activación, área

que, de acuerdo a Baker et al. (2018f), se activa en la memoria de trabajo de imágenes corporales.

Figura 12

Resultados a nivel de fuentes línea base vs bloque ACE Tarea PC1.



Nota. El color en cada una de las imágenes del cerebro representa los valores t tanto positivos como negativos. Al costado izquierdo se encuentra la escala de color aplicada a cada imagen.

Además, se identificó actividad en TF, área esencial para la percepción visual, como en el reconocimiento de objetos. Frente al procesamiento del movimiento se distinguen activación en las áreas V3B y el área V6, responsable del análisis del movimiento visual (Baker et al., 2018i).

Frente a la construcción a una respuesta a la solicitud “¿Cuál llega primero al suelo?“, actividad que puede ser ubicada después del segundo 2.7 (tiempo promedio en leer el texto de la tarea) se identificó actividad en el área V6A, involucrada en la

evaluación de información espacial (Baker et al.,2018i), y en el área intraparietal (IP0), área que interviene en la transformación de información no simbólica en representación espacial y semántica (Baker et al., 2018g).

Por otro lado, no se observó actividad en áreas relacionadas con la extracción de características de objetos como la SFL o IPS1. En cuanto a áreas de activación inesperadas, se destaca la RI (área de la corteza auditiva temprana) que se cree desempeña un rol en la recepción de comunicaciones auditivo-somatosensoriales de la corteza auditiva (Baker et al.,2018f). Si bien la ejecución de la tarea no implicaba ningún tipo de estímulo auditivo, la actividad en esta área puede atribuirse al habla interna. De acuerdo a Perrone-Bertolotti et al. (2014), existen muchas similitudes conductuales entre el habla interna y el habla manifiesta. En este mismo sentido Grandchamp et al., (2019), concluye en su estudio que el habla interna expandida recluta procesos de producción del habla hasta la planificación articulatoria, lo que da como resultado una señal predicha, la voz interna, con cualidades auditivas. Es de resaltar que el habla interna desempeña un papel crucial en el control ejecutivo, además es útil para la memoria de trabajo, el cambio de tareas y la resolución de problemas

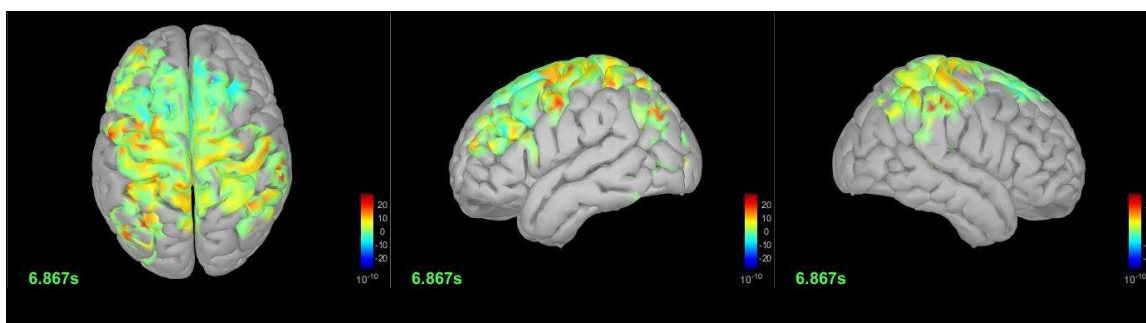
Otra área que se activó durante la tarea de forma inesperada fue la OP1. De acuerdo a (Baker et al.,2018g), esta área cumple un rol destacable en las actividades de tareas bimanuales y contribuye a tareas como el reconocimiento del dolor, la atención táctil y la memoria de trabajo.

Para la tarea PC2 no se identificó actividad significativa en ninguna de las 360 áreas comparadas, si bien se observa actividad a los 6.87 segundos (Figura 13), esta no se

considera dentro del espacio de análisis dada su cercanía al cambio de tarea. Dicha inactividad puede atribuírsele al diseño y complejidad de la tarea. En consonancia con los resultados obtenidos para tareas obtenidos mediante el test, se puede inferir que esta no logro la activación significativa de ninguna de las regiones en comparación con el estado base a causa de la constitución de su diseño, la configuración de sus elementos y la simplicidad de la misma o a la automatización de la respuesta.

Figura 13

Resultados a nivel de fuentes línea base vs bloque ACE Tarea PC2.



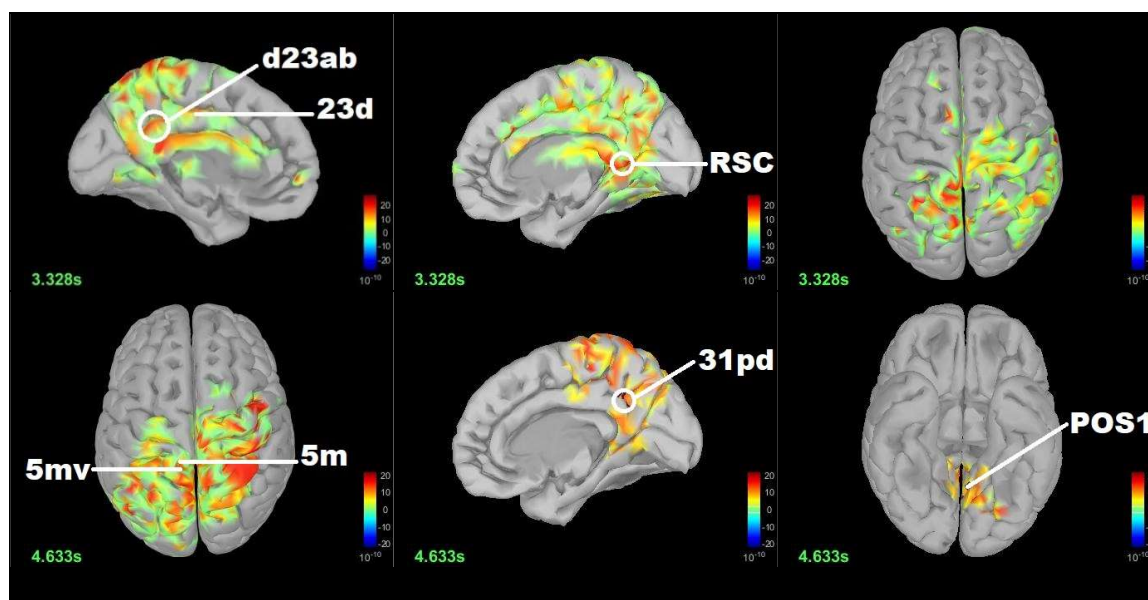
Nota. Imágenes de localización de fuentes generadas en Brainstorm..

Respecto a la tarea PC3, esta fue diseñada para analizarse en dos momentos, durante el estímulo (PC3E) y durante la respuesta (PC3R). Para el primero se esperaba que se activaran regiones del cerebro asociadas al procesamiento visoespacial, sin embargo, el principal objetivo de la tarea fue contrastar una hipótesis a partir de la reafirmación de un evento de manera repetitiva versus a un evento inverosímil. En el marco de los resultados obtenidos se puede observar (Figura 14) diferencias significativas en la corteza parietal en las áreas d23ab, 23d, RSC, 5mv, POS1 y 31pd, dentro del rango de tiempo donde ocurre el evento inverosímil. En cuanto a lo que se conoce frente al

funcionamiento de estas áreas, Baker et al., (2018h), afirma que d23ab y 23d son considerablemente activas durante tareas que necesitan un enfoque externo, principalmente en lo que concierne a la orientación visuoespacial y corporal. Además, plantea, que estas regiones se involucran específicamente en el procesamiento de la memoria de trabajo de imágenes de lugares, cuerpos, herramientas y rostros. Por otro lado, el área RSC está implicada en la navegación espacial, en la transición entre perspectivas espaciales alocéntricas y perspectivas espaciales egocéntricas (Baker et al. 2018h). También interviene en el proceso de generar y manipular mentalmente una escena compleja o coherente (Vann, Aggleton y Maguire, 2009).

Figura 14

Resultados a nivel de fuentes Bloque ACE Tarea 3E vs bloque ACE Tarea PC3EC.

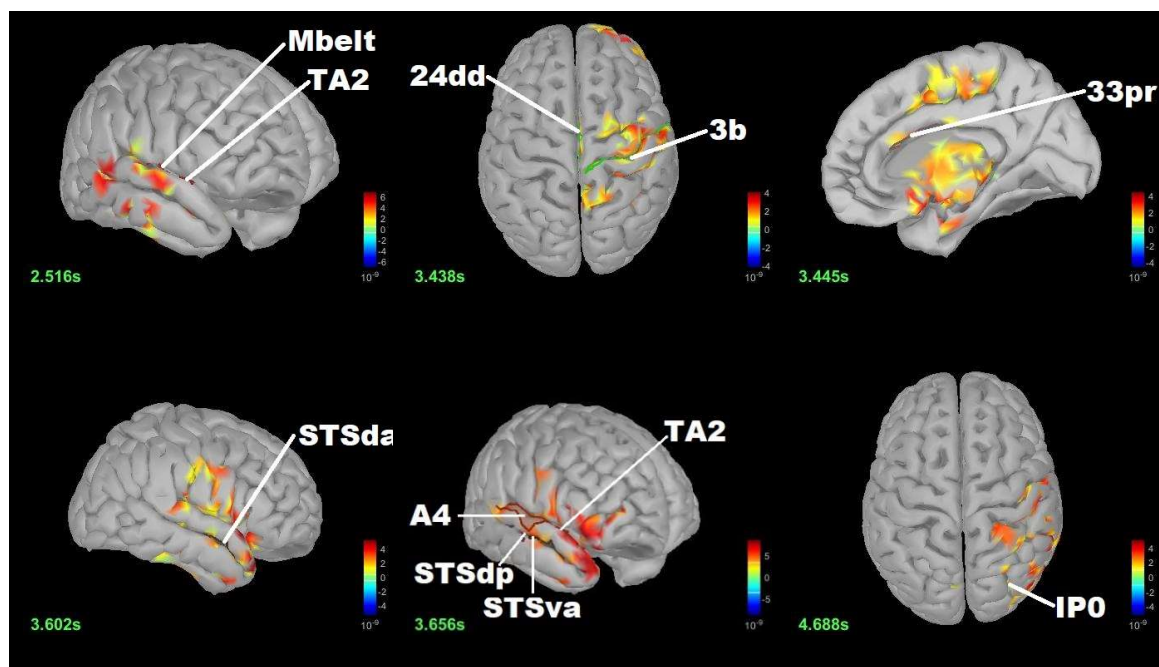


Nota. Imágenes de localización de fuentes generadas en Brainstorm.

Respecto al segundo momento, la Figura 15 muestra una actividad predominante en el hemisferio derecho para los lóbulos temporal, occipital, frontal y parietal, siendo el temporal quien recluta una mayor cantidad de áreas y de forma reiterativa. En lo que se refiere a este último, son las cortezas de Asociación Auditiva y la Auditiva Temprana, las que registran una mayor actividad, destacándose las áreas Mbelt y STSvp, respectivamente, como las áreas que presentan activación recurrente durante el registro. Al área Mbelt se le atribuye actividad en tareas aritméticas, de historia auditiva y de reconocimiento de objetos. Por su parte el área STSvp se activa fuertemente por el contraste secundario entre historia y matemáticas, lo que indica un papel en la comprensión del lenguaje (Baker et al., 20180f).

Figura 15

Resultados a nivel de fuentes bloque ACE Tarea PC3R vs bloque ACE Tarea PC3RC.



Nota. Imágenes de localización de fuentes generadas en Brainstorm.

En cuanto a las áreas 5mv, POS1 y 31pd, están involucradas en mayor precisión cuando se imita un movimiento de la parte superior del cuerpo, posterior a la observación de la tarea, en la comprensión de escenas con el área RSC y en la recuperación de recuerdos semánticos y episódicos, respectivamente (Baker et al. 2018b; Baker et al. 2018h).

Lo primero que se puede inferir es que existe una clara respuesta a nivel cerebral frente al evento inverosímil, se activan regiones coherentes con procesamiento visoespacial y con la memoria de trabajo, situación que sugiere que existió la necesidad de manipular información de manera temporal para comprender la escena. Además, se podría pensar que estas manifestaciones son producto de la necesidad de darle explicación lógica al evento en un contexto espacial, se esperaría que este proceso surja de contrastar la hipótesis planteada en los tres primeros clips frente al evento que contradice dicha hipótesis.

En la corteza de asociación auditiva también se presenta actividad en las áreas A4, TA2, STSda, STSva, STSvp y STSdp, regiones involucradas en el procesamiento auditivo y visual. Se resalta el área A4 que además está involucrada en el control motor y la producción del habla (Baker et al., 2018f).

Para la corteza auditiva temprana, se pueden identificar las áreas (PBelt y A1) que también están involucradas en el procesamiento auditivo. En cuanto a la actividad diferenciada en otros lóbulos, se destacan áreas involucradas en el procesamiento visual (IP0), planificación motora (OP2-3), la integración multisensorial (RI, 2, TPOJ2),

procesamiento de movimiento visual (MT), regulación emocional y la toma de decisiones (24dd, 47m) (Baker et al., 2018d).

Como se ha planteado en apartes anteriores, las características de la tarea y la forma en la que se implementó sugieren que la actividad observada, tanto en las cortezas de Asociación Auditiva y la Auditiva Temprana, está relacionada con procesos de diálogo interno, donde se presenta una "escucha" de los propios pensamientos sin emitir sonido alguno (Yao, Belin y Scheepers 2011; Alderson-Day et al., 2016; Alderson-Day et al., 2020). Esta activación, de acuerdo a Alderson-Day et al. (2020), ocurre debido a un mecanismo de simulación perceptual y se asocia con el control predictivo del cerebro, donde simula o anticipa estímulos, como sonidos, antes de que ocurran físicamente.

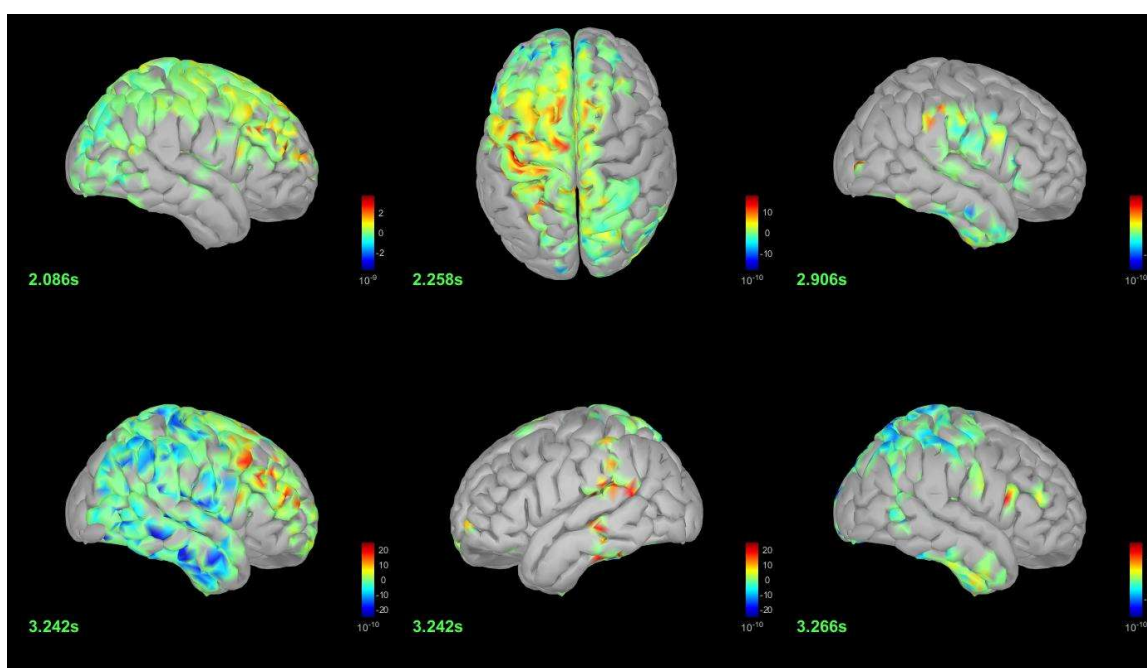
Estudios previos (Yao, Belin y Scheepers 2011; Alderson-Day et al., 2016; Alderson-Day et al., 2020) han demostrado que el cerebro, particularmente en la corteza auditiva, reacciona de manera similar cuando se imagina o recuerda una conversación o cuando se lee en silencio, como si estuviera escuchando un sonido real.

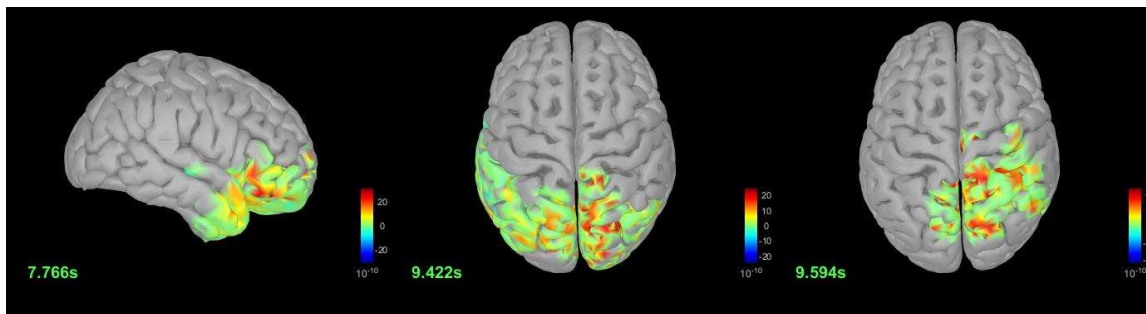
En cuanto a la Tarea PC4, esta fue implementada en dos momentos; el primero orientado a propiciar una hipótesis frente a una situación específica y el segundo orientado a verificar dicha hipótesis. De acuerdo a los resultados arrojados por el test aplicado (Figura 16), frente a la generación de una hipótesis se evidencia una mayor actividad en el hemisferio derecho, especialmente en el lóbulo frontal, en la corteza Prefrontal Dorsolateral (46), Frontal Inferior (IFJa, IFJp) y premotora (55b). De acuerdo Baker et al., (2018a), estas áreas interactúan con áreas posteriores del cerebro para recuperar recuerdos auditivos específicos y desempeñaba un papel en el procesamiento

del lenguaje. Por otra parte, también se observa actividad en el lóbulo parietal en la corteza cingulada posterior en el área v23ab. La activación en esta área se asocia con tareas relevantes para sí mismo, incluyendo la recuperación de recuerdos semánticos y episódicos. Los estudios de resonancia magnética funcional indican que esta región está específicamente involucrada en el procesamiento de la memoria de trabajo de imágenes corporales y faciales; escuchar historias y centrarse en objetos que interactúan socialmente sobre formas geométricas que se mueven aleatoriamente (Baker et al., 2018h).

Figura 16

Resultados a nivel de fuentes línea base vs bloque ACE Tarea 4-hipótesis (PC4H).





Nota. Imágenes de localización de fuentes generadas en Brainstorm.

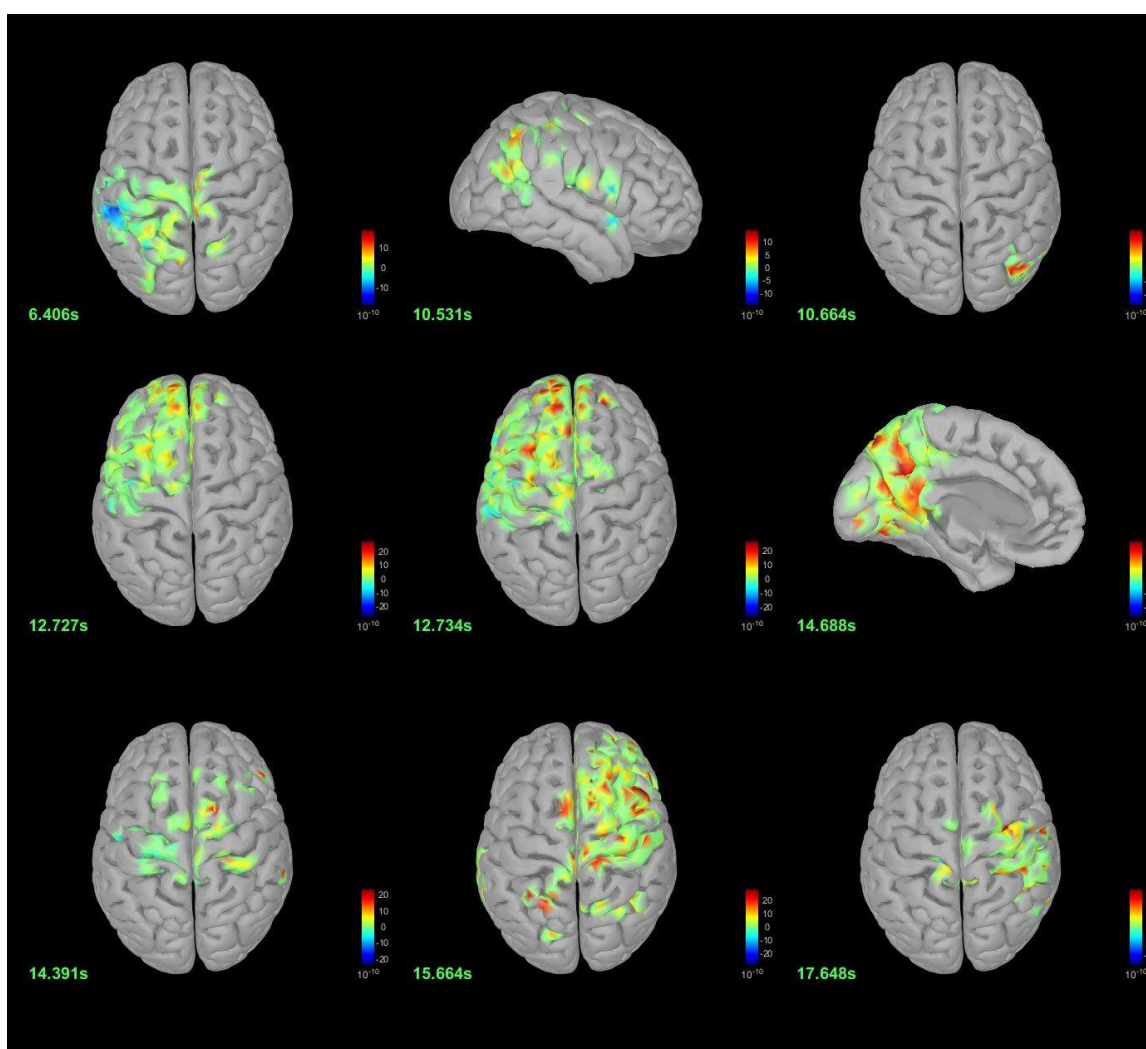
Frente al lóbulo temporal, se destaca el área PreS y PHA2, responsables del procesamiento de información espacial y episódica mediante el procesamiento de información contextual (Baker et al., 2018f). En general, se esperaba encontrar actividad en regiones asociadas con procesos visoespaciales (dada la necesidad de recrear la situación), de memoria de trabajo (retener información), extracción de características de objetos, memoria (recuperación de eventos relacionados) y de toma de decisiones. Los resultados son coherentes en la mayoría de procesos esperados, sin embargo, de manera similar que en la tarea PC1, no se observó actividad en áreas relacionadas con la extracción de características de objetos como la SFL o IPS1. Por otro lado, es recurrente encontrar actividad en áreas relacionadas con el procesamiento de información auditiva y de lenguaje, situación que sugiere un protagonismo importante del dialogo interno frente a este tipo de tareas.

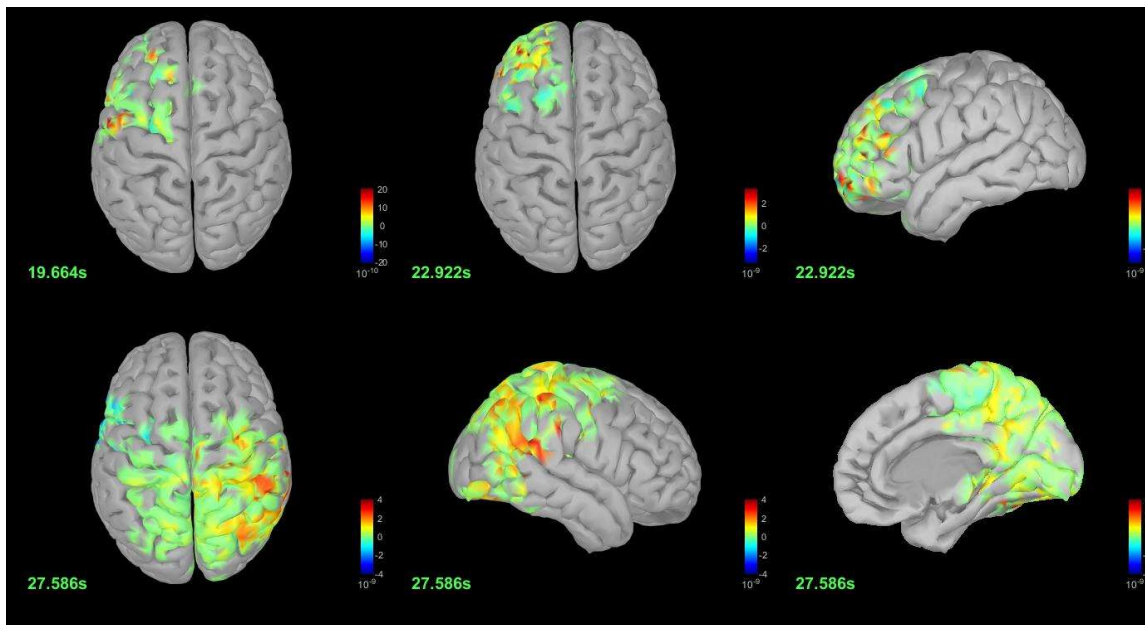
Con relación a la verificación de hipótesis, es de resaltar que esta parte de la tarea PC4 no contaba con una solicitud específica, se le presentaba al estudiante sin previas indicaciones. Los resultados revelan (Figura 17) mayor actividad hemisférica del lado izquierdo, específicamente del lóbulo frontal, corteza cingulada anterior y prefrontal

medial. Para dicha región se destacan la actividad en a24pr, área implicada en la selección de respuestas cognitivas y la actividad en p32pr, involucrada en la selección de estímulos y respuestas en tareas que requieren atención a información lingüística y sensorial (Baker et al.,2018i).

Figura 17

Resultados a nivel de fuentes línea base vs bloque ACE Tarea 4 – verificación (PC4V).





Nota. Imágenes de localización de fuentes generadas en Brainstorm.

Por otra parte, se observa, con menor frecuencia, actividad para el lóbulo frontal en la corteza prefrontal dorsolateral (s6-8, p9-46v) y premotora (6d,55b), la primera involucrada en el mantenimiento de la información de distribución espacial y en los procesos cognitivos de orden superior dirigidos a objetivos (Baker et al., 2018a; Baker et al., 2018b). La segunda, se activa (menor que en áreas como la FEF) en la comparación de características de objetos. En este mismo marco de análisis de objetos, también se identifica actividad relacionada preferentemente en respuesta a información de límites y de orientación selectiva para procesar la forma de los objetos (LO1 Complejo MT+ y Áreas Visuales Vecinas), con análisis de las características básicas del color y con el procesamiento y análisis del movimiento visual (PIT, V6 Corriente Ventral Visual) (Baker et al. 2018i).

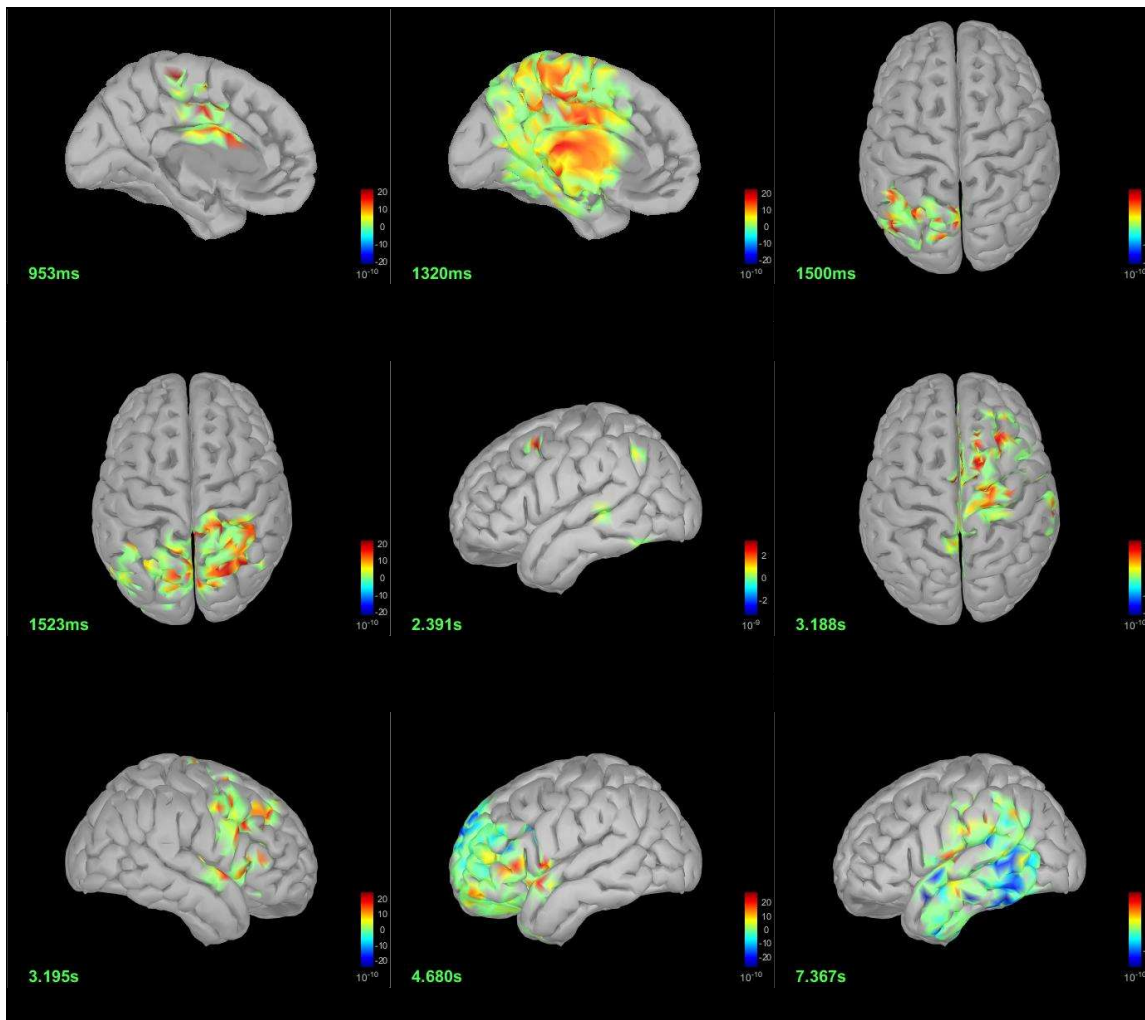
En función de la actividad hasta aquí analizada, respecto a la verificación de hipótesis, se puede interpretar que existe una necesidad por darle respuesta al cuestionamiento planteado en la primera parte de la tarea, esta situación puede relacionarse con la activación de manera reiterativa de áreas involucradas la selección de estímulos y respuestas, este último es un proceso cognitivo en el que se identifican, entre múltiples estímulos presentes en el entorno, aquellos que son relevantes para una tarea o acción específica. Una vez identificado el estímulo adecuado, el cerebro selecciona la respuesta más adecuada. Este proceso implica la toma de decisiones, la inhibición de respuestas no necesarias y el enfoque en los estímulos pertinentes (Miller y Cohen, 2001).

7.2 Bloque ATE

Para el bloque ATE, en su Tarea PT1, no se evidencia dominio hemisférico significativo (Figura 18), se observa activación predominantemente en el lóbulo frontal en áreas involucradas en la creación de representaciones procedimentales en la memoria de trabajo a partir de instrucciones verbales (IFSa), en la evaluación de todas las conductas oculomotoras posibles para dirigir los centros oculomotores primarios en conductas dirigidas a objetivos (SCEF), en la recuperación de recuerdos auditivos específicos (IFJp), en el mantenimiento de la información espacial e interpretación de la información visual compleja y la atención (8c) y en la actividad durante el movimiento abstracto imaginado desde una perspectiva en tercera persona (FOP1) (Baker et al., 2018a).

Figura 18

Resultados a nivel de fuentes línea base vs bloque ATE Tarea PT1 .



Nota. Imágenes de localización de fuentes generadas en Brainstorm.

A su vez, con menor áreas de activación, se observa el lóbulo parietal en la corteza cingulada posterior y parietal superior. Dichas áreas de acuerdo a Baker et al. (2018h), están implicadas durante tareas relevantes para sí mismo, incluida la recuperación de recuerdos semánticos y episódicos (31pd), en el movimiento de la visión, el espacio, la forma de la visión, la memoria de trabajo, el aprendizaje motor y la

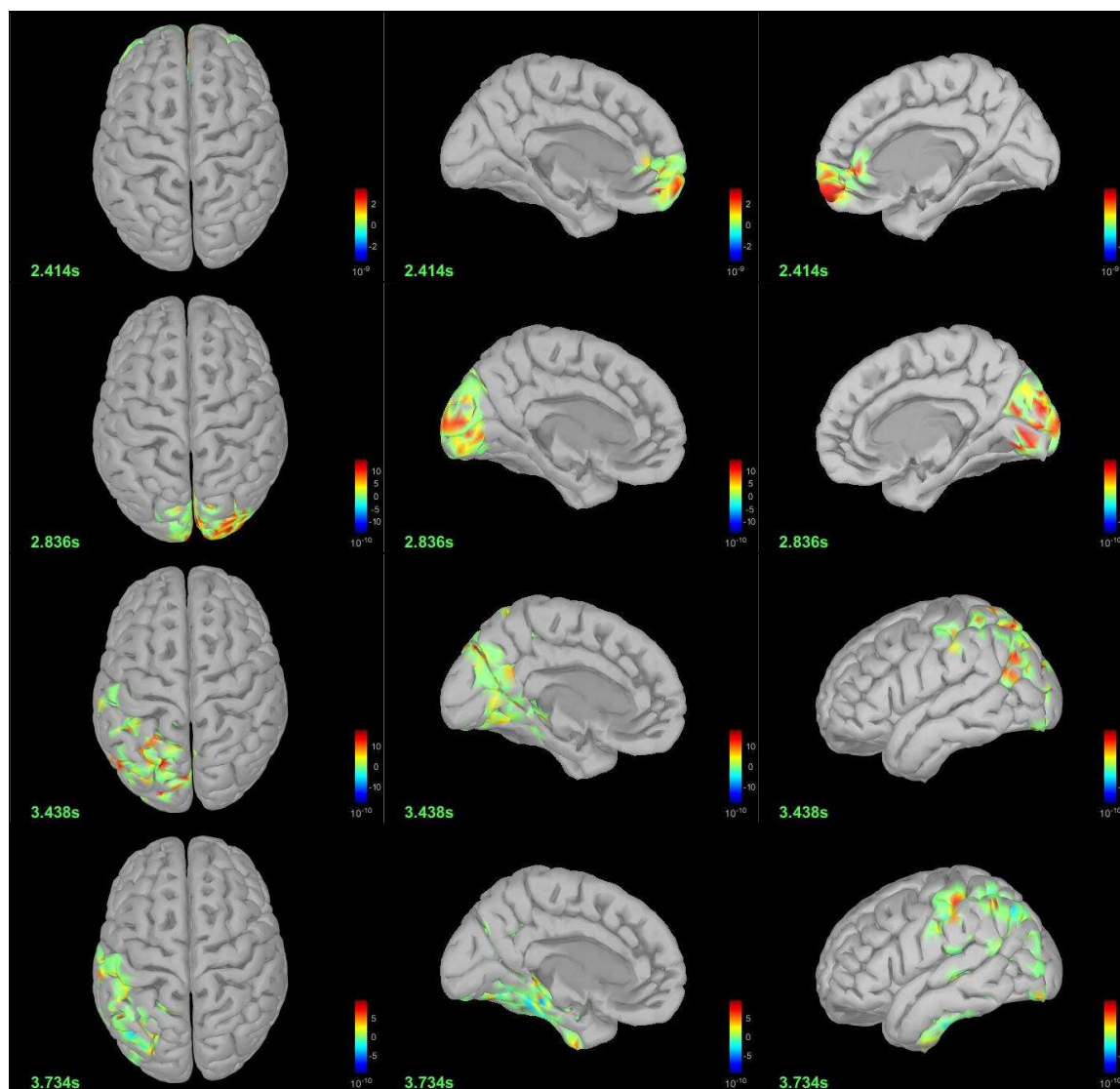
ejecución y atención (7PI). Además, áreas como AIP participan en la actividad de captación y en el reconocimiento de objetos. Por otra parte, frente a la actividad identificada en el lóbulo occipital se destaca la recurrencia del área VMV3, importante para la integración de información de color, textura y forma para el reconocimiento de objetos de nivel superior (Baker et al. 2018i).

Como se esperaría para una tarea de este tipo, se encontró activación de regiones asociadas con los procesos visuales de interpretación y recuperación, procesamiento de información espacial, extracción de características de objetos, memoria de trabajo. No se encontró actividad en regiones inesperadas como en tareas analizadas previamente.

En la Tarea PT2 se observa dominio del hemisferio izquierdo, se evidencia (Figura 19) una actividad importante en la corriente dorsal visual, en áreas responsables del procesamiento de la información del movimiento y en el discernimiento de los bordes de los objetos en movimiento (V3B), de integrar información espacial dentro del campo visual central (V7) y del procesamiento y análisis del movimiento visual (V6) (Baker et al. 2018i). Así mismo se evidencia actividad en áreas de la corteza temporo-parieto-occipital que, de acuerdo a Baker et al. (2018i), son más activas durante las tareas de memoria de trabajo (TPOJ3).

Figura 19

Resultados a nivel de fuentes línea base vs bloque ATE Tarea PT2 .



Nota. Imágenes de localización de fuentes generadas en Brainstorm.

Otras cortezas que evidencian actividad, son la parietal inferior (IP1-IP2) y la parietal superior (MIP). La primera muestra actividad significativa en actividades de aritmética mental, la segunda es importante para la transformación de la información visual en acción motora para un movimiento preciso (Baker et al. 2018g). También se

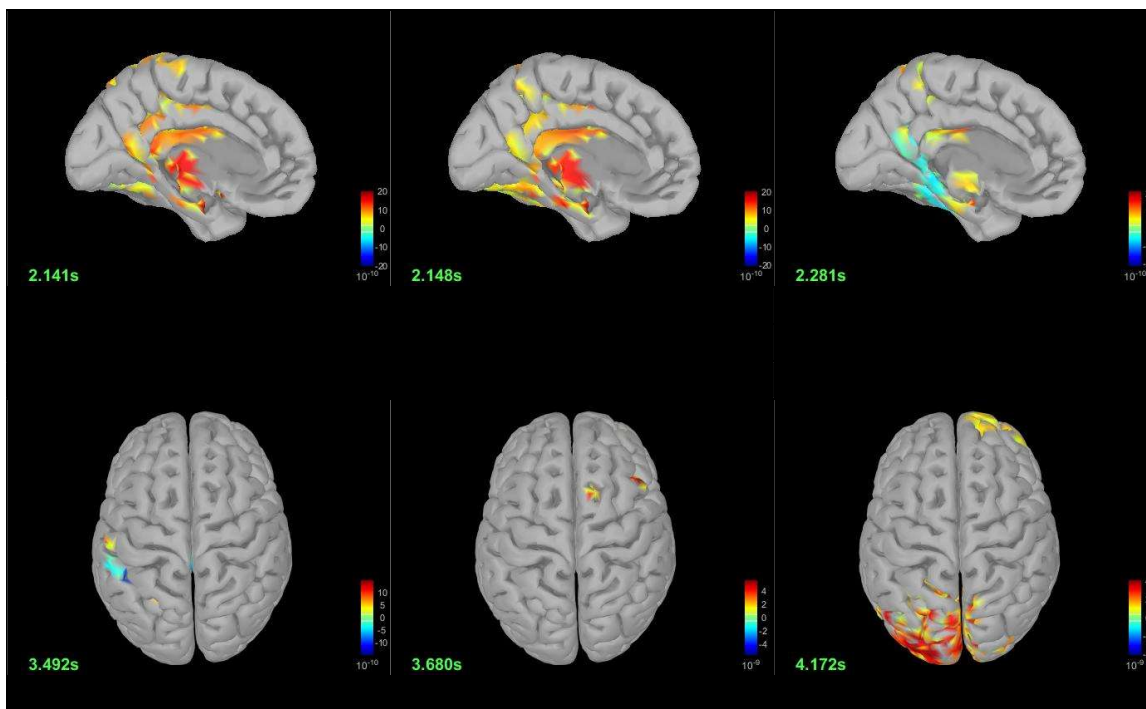
encontró en el área p10p, que participa en tareas de memoria episódica y de trabajo y también desempeña un papel en la función cognitiva abstracta.

En general, la actividad cerebral esperada es congruente con la registrada ya que se evidencio actividad en regiones responsables del procesamiento visual, de la memoria episódica y de trabajo. Además, los resultados sugieren procesos aritméticos y de abstracción que son coherentes con el diseño de la tarea y las características de las imágenes presentadas en ella.

En la Tarea PT3 de este bloque, se puede observar actividad (Figura 20) importante con dominio del hemisferio izquierdo, en los lóbulos frontal y parietal. En referencia al primero, el frontal, en áreas relacionadas con la selección de estímulos y respuestas durante tareas cognitivamente exigentes (p24pr), con la coordinación de la actividad autónoma, visceromotora y endocrina que acompaña a la emoción (33pr), con tareas de interacción de objetos (FOP2), con la planificación motora compleja y en la regulación de los músculos del brazo superior y el tronco superior (24dv), con la recuperación de recuerdos auditivos específicos (IFJp y IFJa) , con la interpretación de información visual compleja y en el mantenimiento de la información espacial (8Av) (Baker et al. 2018a) .

Figura 20

Resultados a nivel de fuentes línea base vs bloque ATE Tarea PT3.



Nota. Imágenes de localización de fuentes generadas en Brainstorm..

En cuanto al segundo, el parietal, se identificó actividad en regiones involucradas en tareas que requieren un enfoque externo, especialmente en lo que respecta a la orientación visuoespacial y en el procesamiento de imágenes corporales de la memoria de trabajo (d23ab), en la recuperación de recuerdos semánticos y episódicos (v23ab), en el procesamiento de la memoria de trabajo de imágenes de lugares, cuerpos, herramientas y rostros (v23ab), en la navegación espacial, la memoria episódica, la planificación futura y la imaginación (RSC) y en el movimiento de la visión, el espacio, la forma de la visión, la atención y la memoria de trabajo (7Pm) (Baker et al. 2018g; Baker et al. 2018h).

Por otra parte, también se reconoció actividad en el lóbulo occipital en las áreas VMV3, LO1 y V3B. Regiones que intervienen en la integración de información de color, textura y forma para el reconocimiento de objetos de nivel superior, en respuesta a información de límites y de orientación selectiva para procesar la forma de los objetos y en el procesamiento de la información del movimiento y en el discernimiento de los bordes de los objetos en movimiento, respectivamente.

A grandes rasgos, la actividad que se puede apreciar en los diferentes lóbulos es consistente con el diseño de la tarea y la respuesta esperada. Para esta tarea se esperaba la intervención de la memoria tanto de trabajo como episódica, procesamiento tanto visual como espacial, extracción de características física de objetos, imaginación visual y selección de respuestas.

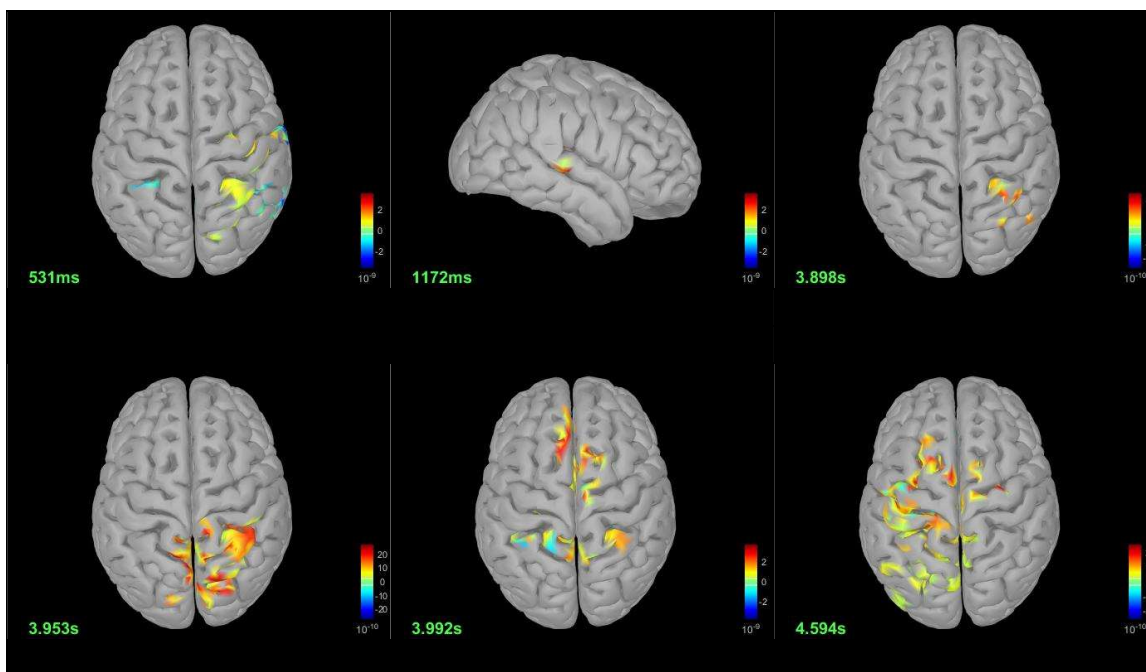
Por otro lado, frente a regiones en las que no se esperaba activación, se resaltan las áreas IFJp y IFJa responsables de la recuperación de recuerdos auditivos específicos y el área 24dv relacionada con la planificación motora compleja y en la regulación de los músculos del brazo superior y el tronco superior. La primera podría asociarse con una orientación verbal previa relacionada con la tarea. En referencia a la segunda se podría relacionar con la imaginación mental (capacidad de formar imágenes, sonidos o sensaciones en la mente sin que estos estímulos estén presentes en el entorno físico) y la planificación de movimiento requerido en el uso de las herramientas presentadas en la actividad propuesta.

Para Tarea PT4, los resultados del test (Figura 21) presentan dominio hemisférico derecho con actividad relevante tanto en el lóbulo parietal como en el frontal. En el

parietal se distinguen áreas implicadas en el control de la atención y los movimientos oculares, en la coordinación sacádica y el mapeo de los espacios contralaterales (LIPd), en el movimiento de la visión, la observación, el espacio y la ejecución (7PC), en la transición entre la ubicación de los estímulos y los movimientos planificados, el razonamiento espacial y la atención (DVT), en la transformación de la información visual en acción motora para un movimiento preciso (MIP), en el movimiento de la visión, el espacio, la forma de la visión, la atención y la memoria de trabajo (7PI), y en el procesamiento de la memoria de trabajo de imágenes de lugares y cuerpo (23c) (Baker et al. 2018g).

Figura 21

Resultados a nivel de fuentes línea base vs bloque ATE Tarea PT4.



Nota. Imágenes de localización de fuentes generadas en Brainstorm.

Para el frontal se destacan las áreas IFJa, a24pr, 33pr, 6ma y 24dd, relacionadas con recuperación de recuerdos auditivos específicos, con la selección de respuestas cognitivas, con la coordinación de la actividad autónoma, visceromotora y endocrina que acompaña a la emoción, con las señales recibidas después de una instrucción visual y con la planificación motora compleja respectivamente (Baker et al. 2018a; Baker et al. 2018c).

Al mismo tiempo se registra actividad en los lóbulos occipital y temporal en las regiones asociadas con la integración de información de color, textura y forma para el reconocimiento de objetos de nivel superior (VMV2, VMV3) y con el procesamiento visoespacial y la memoria episódica mediante el procesamiento de información contextual (PHA2) (Baker et al. 2018i; Baker et al. 2018f).

Desde un análisis general, se puede apreciar que los resultados obtenidos frente a los esperados no difieren, pues se identifican procesamiento visoespacial, interviene tanto áreas asociadas tanto a la memoria episódica como a la memoria de trabajo. También se observan análisis de objetos desde sus características, selección de respuesta y simulación mental. Por otro lado, en cuanto la actividad en áreas inesperadas, de la misma manera que en la tarea anterior, la región IFJa muestra actividad.

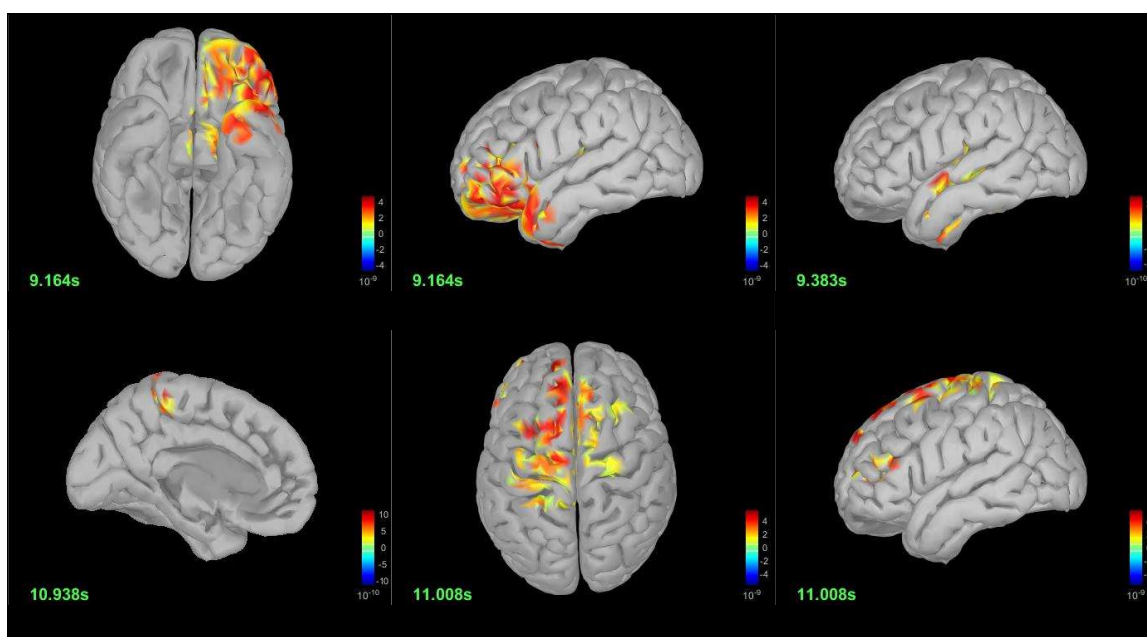
7.3 Bloque ATCE

Para este bloque de actividades, la tarea PTC1 muestra (Figura 22) dominio hemisférico izquierdo, principalmente en el lóbulo frontal, en las áreas p47r, s32, 8BL, 6ma y p32pr involucradas en el reconocimiento del lenguaje hablado, en el afecto emocional y en las

expectativas de recompensa, en el manejo de la memoria de trabajo espacial, en las señales recibidas después de una instrucción visual y en la selección de estímulos y respuestas en tareas que requieren atención a información lingüística y sensorial respectivamente (Baker et al. 2018a).

Figura 22

Resultados a nivel de fuentes línea base vs bloque ATCE Tarea PTCl.



Nota. Imágenes de localización de fuentes generadas en Brainstorm.

En cuanto al resto de lóbulos, en el parietal se identifica actividad asociada con tareas de procesamiento somatosensorial, como el reconocimiento del dolor, la atención táctil y la memoria de trabajo (OP1), con la observación del uso de herramientas para mover objetos (PFt) y con la integración de información somatosensorial y visomotora (5m) (Baker et al. 2018g). Para el lóbulo temporal se presenta actividad en el área TA2 responsable de percibir estímulos auditivos, en las áreas STSdp y STSda responsables

principalmente del procesamiento del movimiento, la integración audiovisual y el procesamiento facial, además presentan una activación fuerte con estímulos auditivos y visuales combinados que indican un papel en la integración audiovisual (Baker et al. 2018f). En referencia a la ínsula, el área AAIC desempeña un papel en la sensación y el control de los procesos del sistema nervioso autónomo, así como en la conciencia humana, el autorreconocimiento, la percepción del tiempo y la toma de decisiones perceptuales (Baker et al. 2018d). Es de resaltar que para esta tarea no se registró actividad en el lóbulo occipital.

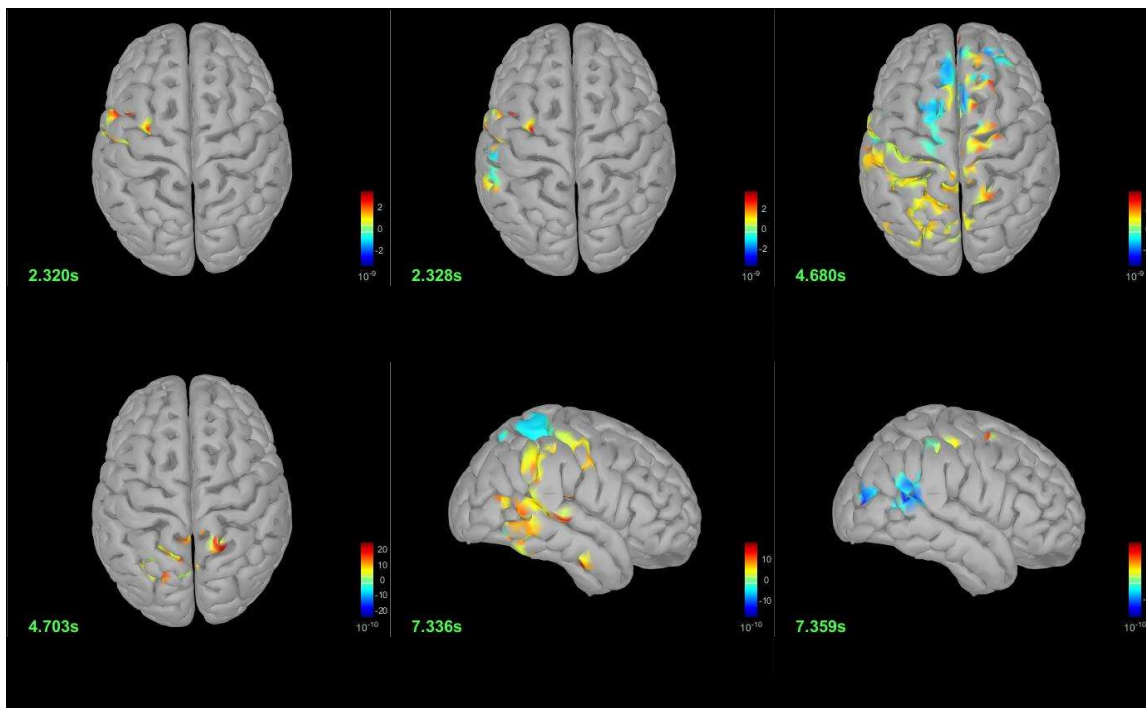
Los resultados del test para esta tarea son congruentes con el diseño y fin de la tarea, sin embargo, como en tareas arriba analizadas, se identificaron procesos inesperados que sugieren integración de información audiovisual, somatosensorial y visomotora. Esta actividad, dada la ausencia de estímulos auditivos, táctiles o motores, se podría inferir que está asociada al habla interna y/o a la simulación mental de esas experiencias, lo que refleja una interacción entre la imaginación y las áreas cerebrales sensoriales, aunque de manera menos intensa que en la percepción real del estímulo (Kosslyn, Thompson y Ganis ,2006; Barsalou ,2008; Pearson, Naselaris, Holmes y Kosslyn ,2015). Por otro lado, es de resaltar que en la resolución de la tarea no se recurrió a regiones asociadas con la memoria episódica, situación que sugiere la tarea como actividad poco familiar.

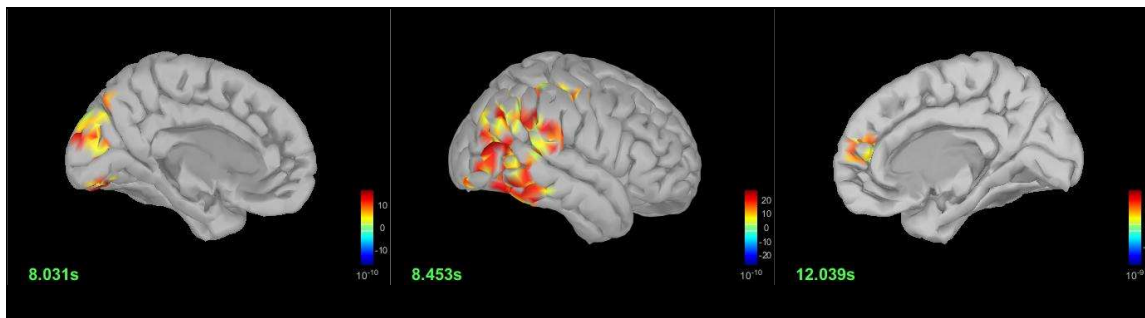
De acuerdo a los resultados obtenidos (Figura 23) en esta tarea (PTC2), no se aprecia dominio hemisférico, sin embargo si se observa actividad importante en el lóbulo parietal, en la corteza auditiva Temprana (áreas RI y PFcm) asociada con la recepción

de comunicaciones auditivo-somatosensoriales de la corteza auditiva junto con la ínsula granular, en la corteza cingulada posterior (área v23ab) la cual juega un papel importante en la recuperación de recuerdos semánticos y episódicos, en la corteza opercular posterior (OP1), que contribuye en el procesamiento somatosensorial, como el reconocimiento del dolor, la atención táctil y la memoria de trabajo, en la corteza parietal inferior (áreas IP0, IP1 y IP2) relacionada con una activación significativa durante las actividades de aritmética mental. Puede, además, desempeñar un papel en la transformación de información numérica simbólica/no simbólica en representaciones espaciales y semánticas (Baker et al. 2018g).

Figura 23

Resultados a nivel de fuentes línea base vs bloque ATCE Tarea PTC2.





Nota. Imágenes de localización de fuentes generadas en Brainstorm.

Se evidencia también actividad en la corteza parietal superior (áreas LIPd, 7Pl y 7Am) y en la unión temporo-parieto-occipital (STV). La primera implicada en el control de la atención, el movimiento de la visión, el espacio, la memoria de trabajo, recuperación de la memoria episódica, el aprendizaje motor y en el procesamiento de varios tipos de información, incluyendo el espacio, la forma y el movimiento de la visión. La segunda desempeña un papel en funciones cognitivas superiores, como el procesamiento de información esencial, el control emocional y el control de las funciones cognitivas (Baker et al. 2018d).

En cuanto al resto de lóbulos, la región frontal registra actividad en áreas que desempeñan un papel de orden superior en el afecto emocional y en las expectativas de recompensa (s32), en el monitoreo de piezas múltiples de información espacial (9m) y para desempeñar un papel en la expresión emocional y la motivación (a24). Asimismo, se evidencia actividad en el área 10d que participa, de acuerdo a la literatura (Baker et al. 2018a), en tareas de memoria episódica y de trabajo, además se activa en relación con la creciente complejidad de las tareas de la memoria de trabajo y desempeña un papel en la función cognitiva abstracta.

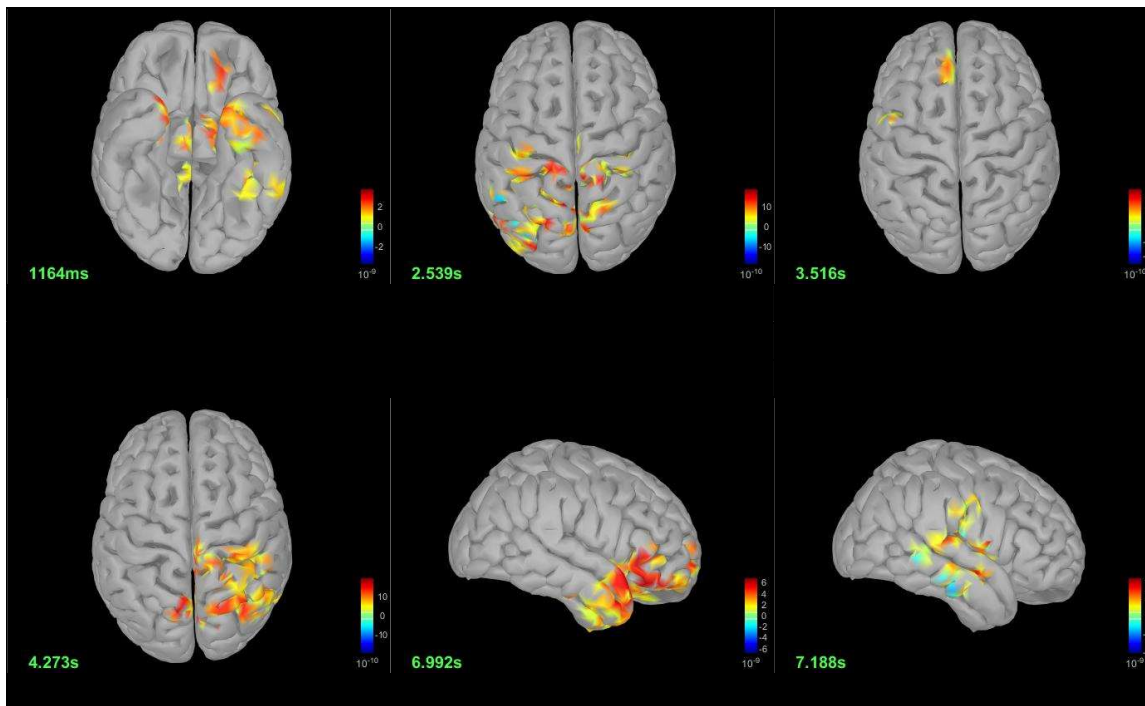
En la región occipital, se identifican las áreas MT, que responden al movimiento visual sensible a la dirección y son responsables de la integración de señales visuales unidimensionales en un patrón de movimiento visual bidimensional, el área V6A implicada en la integración y evaluación de información espacial para coordinar los movimientos de los ojos y los brazos y el área V4t que interviene en la integración del procesamiento de objetos y el movimiento global de percepción (Baker et al., 2018g).

En el marco de un análisis global, en esta tarea pueden identificarse áreas inesperadas de activación como las relacionadas con el control afectivo y emocional. Al respecto, no se encuentran elementos que permitan establecer conexión directa con la tarea planteada. En general, la tarea demostró actividad importante en áreas coherentes con la respuesta esperada y con simulación mental de procesos visoespaciales, con actividad auditivo-somatosensorial, con procesos relacionados con aritmética mental y con manipulación de objetos.

Para la tercera tarea del bloque ATCE se reconoce actividad relevante (Figura 24) en el lóbulo frontal en las áreas involucradas en el manejo de la memoria de trabajo espacial y la representación topográfica de ese espacio (8BL), en relacionar objetos basándose en una señal verbal (SFL), en los procesos cognitivos de orden superior dirigidos a objetivos (9-46d), en la recuperación de recuerdos auditivos específicos (IFJa), en el reconocimiento del lenguaje hablado (p47r) y en el movimiento abstracto imaginado desde una perspectiva en tercera persona (FOP1).

Figura 24

Resultados a nivel de fuentes línea base vs bloque ATCE Tarea PTC3.



Nota. Imágenes de localización de fuentes generadas en Brainstorm.

Con relación al lóbulo parietal, se destacan las áreas 5m, que de acuerdo a Baker et al. (2018g), son responsables de integrar información somatosensorial y visomotora, además se cree que se activan cuando se realizan tareas que requieren una coordinación compleja entre la mano derecha e izquierda. Se destacan además las áreas 7Pm y 7Pl, regiones involucradas en el movimiento de la visión, el espacio, la forma de la visión, la atención, la memoria de trabajo y la recuperación de la memoria episódica. En la región temporal se identificó actividad en el área TGv, la cual se activa o desactiva durante tareas motoras en respuesta a señales visuales, particularmente cuando se trata de distinguir objetos según las dimensiones de sus características. También se observó

actividad en STSda y STSva, regiones implicadas en la teoría de la mente y participan en el procesamiento del movimiento, el procesamiento del habla y el procesamiento facial. Además, desempeña un papel relevante en la integración audiovisual y, por último, en PBelt, cuya actividad se asocia con tareas aritméticas, de historia auditiva y con señales motoras.

En general para esta tarea se reconoce actividad en regiones cuyas funciones asociadas son consistentes con el procesamiento de la tarea, se identifican áreas responsables del control atencional, de la simulación de acciones motoras, de la memoria de trabajo y episódica, en la recuperación de recuerdos auditivos, entre otras igual de relevantes. Sin embargo, sigue sorprendiendo la activación de regiones responsables de integración audiovisual, de reconocimiento del habla como de la visualización de sí mismo realizando una acción (movimiento abstracto imaginado desde una perspectiva en tercera persona área FOP1). En relación a esta última, este tipo de simulación mental se ha estudiado en el contexto de la neurociencia cognitiva, en la cual se ha observado que la imaginación de movimientos desde una perspectiva externa activa regiones cerebrales como el área motora suplementaria y la corteza parietal posterior, involucradas en el procesamiento visoespacial y en la transformación de perspectivas (Jeannerod, 2006).

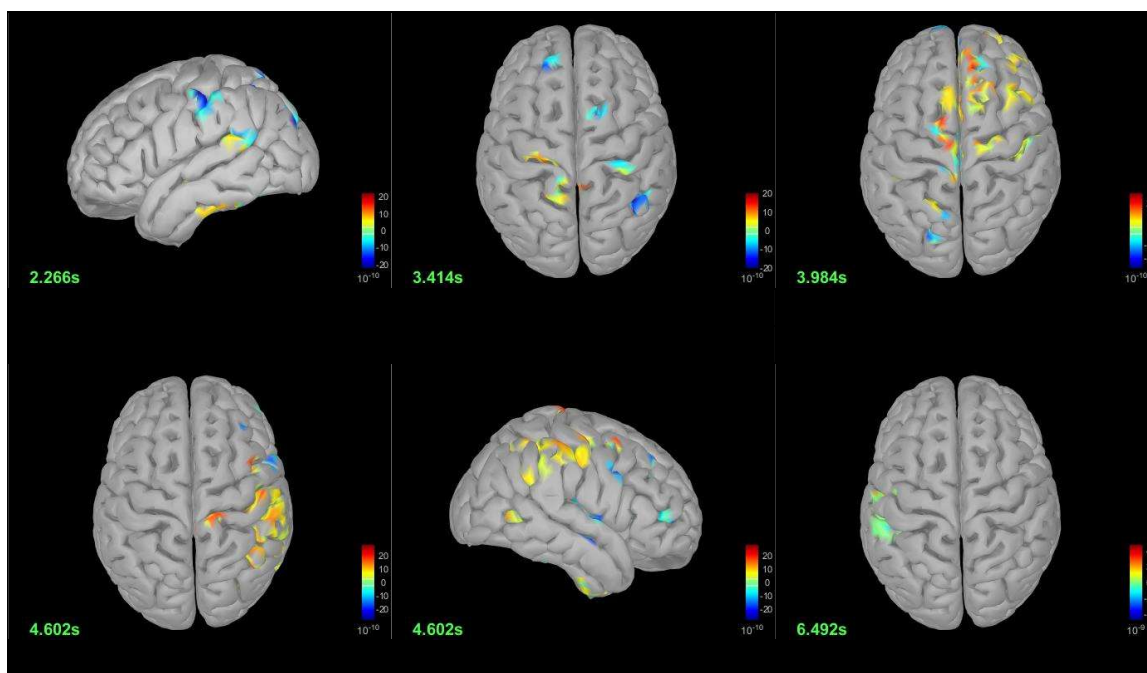
Para PTC4 no se evidenció dominio hemisférico y la actividad está distribuida entre los lóbulos frontal, parietal y occipital (Figura 25), el lóbulo temporal cuenta con un protagonismo más reducido. Respeto al primero, el frontal, se observa actividad asociada con la selección de respuestas cognitivas (a24pr), con la atención selectiva y la selección

de estímulo/respuesta (p24), con la planificación motora compleja (24dd) y con tareas de interacción de objetos (FOP2) (Baker et al. 2018c).

Por otro lado, en relación a la región parietal, se destacan las áreas 7m y PCV las cuales participan en la percepción visual-espacial, la recuperación de la memoria episódica, el autoprocesamiento y la conciencia, además están involucradas en el procesamiento de la memoria de trabajo de imágenes de lugares, cuerpos, herramientas y rostros (Baker et al. 2018h). Así mismo, muestra actividad el área 31pv, involucrada en la recuperación de recuerdos semánticos y episódicos, el área OP2-3 que desempeña un papel en la recepción de estímulos somatosensoriales, así como RI que cuenta con un rol importante en la recepción de comunicaciones auditivo-somatosensoriales de la corteza auditiva (Baker et al. 2018d, Baker et al. 2018d).

Figura 25

Resultados a nivel de fuentes línea base vs bloque ATCE Tarea PTCA.



Nota. Imágenes de localización de fuentes generadas en Brainstorm.

Para el lóbulo occipital se registró actividad en PGp, área involucrada en recuperación de la memoria, de toma de decisiones y perspectiva egocéntrica/alocéntrica, en VMV2, VMV3 y VMV1 que, de acuerdo a Baker et al.(2018g), son áreas relevantes en la integración de información de color, textura y forma para el reconocimiento holístico de lugares. En cuanto al lóbulo temporal, se activan regiones relacionadas con teoría de la mente y tareas motoras (TE2p) y con integración audiovisual (STSda) (Baker et al., 2018f).

Como en tareas anteriores de este mismo bloque, se identifica recurrencia de regiones relacionadas con el procesamiento visoespacial, la interacción con objetos, la recuperación de memoria y procesamiento de memoria de trabajo, entre otras no menos importantes y coherentes con el diseño y la expectativa de respuesta. Es de resaltar la importancia de la integración audiovisual y somatosensorial en este bloque de tareas que, dada la condición de inmovilidad de la aplicación de las pruebas, solo sugiere procesos de simulación motora visual y dialogo interno.

Para finalizar este apartado, a modo de resumen, se examinaron los patrones de activación cerebral categorizados en tres distintos dominios: Pensamiento Científico (PC), Procesamiento Tecnológico (PT) y Procesamiento Tecno-Científico (PTC). La Tabla 22 muestra la activación de las áreas corticales (indicada por 1) o la no activación (indicada por 0). A continuación, se detalla el análisis de los patrones observados, que revelan diferenciaciones clave entre las categorías, así como consistencias en la

activación de ciertas regiones cerebrales, sugiriendo sus roles fundamentales en los procesos cognitivos abordados.

Tabla 22

Regiones cerebrales que presentan activación en función de la tarea.

Lob.	córtex	área	PC				PT				PTC			
			PC 1	PC 2	PC 3	PC 4	PT 1	PT 2	PT 3	PT 4	PTC 1	PTC 2	PTC 3	PTC 4
O	Complejo MT+ y Áreas Visuales Vecinas	MST	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
T	Auditivo Temprano	A1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	1
P	Unión Temporo-Parieto-Occipital	STV	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	1
P	Parietal Superior	7Pm	0	0	0	1	1	0	1	1	0	0	1	0
P	Cingulado Posterior	POS1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0
P	Lobulillo Paracentral y Cing. Medio	5m	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1	1	0
P	Lobulillo Paracentral y Cing. Medio	5mv	0	0	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0
P	Parietal Superior	7Pl	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	1	0
P	Parietal Superior	MIP	1	0	0	1	1	1	0	1	0	0	1	0
F	Cing. Anterior y Prefrontal Medial	33pr	0	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1	0
F	Cing. Anterior y Prefrontal Medial	a24pr	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
F	Prefrontal Dorsolateral	8BL	1	0	0	1	0	0	0	1	1	0	1	0
F	Frontal Inferior	IFJp	0	0	0	1	1	0	1	1	1	0	0	0
P	Parietal Superior	LIPd	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	0
P	Opercular Posterior	OP1	1	0	0	1	0	1	0	1	1	1	0	0
P	Auditivo Temprano	RI	1	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	1
T	Asociación Auditiva	STSvp	0	0	0	1	0	0	1	1	0	1	1	1
P	Unión Temporo-Parieto-Occipital	TPOJ3	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	1	1

Lob.	córtex	área	PC				PT				PTC			
			PC 1	PC 2	PC 3	PC 4	PT 1	PT 2	PT 3	PT 4	PTC 1	PTC 2	PTC 3	PTC 4
P	Parietal Inferior	IP1	0	1	0	0	1	0	1	1	1	1	1	0
O	Parietal Inferior	IP0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0
T	Temporal Medial	PHA2	1	0	1	1	0	1	1	1	0	0	1	0
P	Cingulado Posterior	31pd	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0
T	Auditivo Temprano	MBelt	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	0	1

Nota. En la tabla las letras O, F, T y P hacen referencia a los lóbulos Occipital, Frontal, Temporal y Parietal, respectivamente. Es de resaltar que es una versión resumida, solo se presentan las áreas que evidencian mayor actividad.

La Tabla 21 muestra que algunas áreas corticales mostraron una activación constante a través de todos los tipos de pensamiento estudiados, indicativo de su papel esencial en el procesamiento cerebral general. Notablemente, el área V3B de la corriente dorsal visual, exhibió una activación recurrente en PT y tendencias de activación en PTC, lo que subraya su relevancia en el procesamiento visual, crucial para tareas que involucran tanto componentes tecnológicos como tecno-científicos.

Frente a la activación específica por categoría se destaca los siguientes hallazgos:

- Pensamiento Científico (PC): áreas como A1 (auditivo temprano) y 3b (somatosensorial y motor) manifestaron una activación preferente en el contexto de PC, lo que refleja su importancia en el procesamiento de estímulos auditivos y

somatosensoriales pertinentes a tareas científicas puras.

- Pensamiento Tecnológico (PT): en PT, regiones como VMV3 de la corriente ventral visual se activaron de manera predominante, indicando un enfoque en el

procesamiento visual detallado esencial para la manipulación de herramientas tecnológicas.

- Pensamiento Tecno-Científico (PTC): áreas como TPOJ3 (unión temporo-parieto-occipital) y IP1 (parietal inferior) mostraron una mayor tendencia de activación en PTC, implicando la integración de modalidades sensoriales múltiples en tareas que amalgaman elementos científicos y tecnológicos.

En relación a la diferenciación de activación entre Categorías:

- Entre PC y PT: Áreas como PBelt y STV, activas en contextos tecno-científicos, no demostraron una activación significativa en tareas exclusivamente científicas o tecnológicas, lo que sugiere que su funcionalidad es crítica cuando se requiere una integración multisensorial compleja.

- Entre PC y PTC: Regiones como el prefrontal dorsolateral (8BL) exhibieron activación en tanto PC como PTC, pero no en PT, lo que denota su relevancia en la planificación y ejecución en tareas que demandan un control ejecutivo y cognitivo elevado.

8 Discusión

Los resultados obtenidos en este estudio proporcionan una visión clara acerca de cómo ciertas las zonas cerebrales se activan durante la realización de tareas que implican PC o PT o PTC. Estos hallazgos corroboran estudios previos, como los de Dunbar y Klahr (2012), que afirman que el PC se fundamenta en la observación sistemática y la experimentación, lo que se refleja en la activación de áreas auditivas y somatosensoriales observadas en los resultados actuales. Sin embargo, un componente adicional que no fue mencionado explícitamente en estudios anteriores es la activación de áreas relacionadas con el diálogo interno. Estas áreas, que incluyen el procesamiento auditivo, se activan durante la resolución de problemas científicos, sugiriendo un papel central del diálogo interno en la formulación de hipótesis y el análisis verbal para la generación de explicaciones científicas (Perrone-Bertolotti et al., 2014; Grandchamp et al., 2019).

Este hallazgo proporciona evidencia empírica del papel del diálogo interno en el desarrollo del PC y amplía las propuestas teóricas anteriores al mostrar cómo este proceso contribuye a la resolución de problemas científicos. En este contexto, la autorreflexión emerge como un aspecto crucial para enfrentar las actividades científicas, integrando lo que los estudiantes ya saben con los desafíos que enfrentan, lo que refuerza la capacidad de generar nuevas explicaciones a partir de la información disponible.

En cuanto al Pensamiento Tecnológico (PT), los resultados muestran que los patrones de activación cerebral observados presentan una preponderancia en áreas visuales y motoras, tales como la corriente ventral visual y el córtex parietal, lo cual concuerda con las teorías de Osiurak et al., (2020). Estos estudios señalan que el PT se

sustenta en la percepción visual y la manipulación de herramientas, áreas clave para las tareas tecnológicas. En particular, la activación en regiones relacionadas con la memoria de trabajo espacial y el control motor refuerza la idea de que las actividades tecnológicas requieren de habilidades visomotoras precisas para manipular herramientas de manera eficiente.

En conjunto, los hallazgos de este estudio no solo confirman las teorías actuales sobre los procesos cognitivos subyacentes al PC y al PT, sino que también ofrecen nuevas perspectivas. En el caso del PC, la planificación imaginativa, basada en el diálogo interno y en la experimentación, desempeña un papel fundamental en la resolución de problemas científicos. Para el PT, la manipulación mental de herramientas y el uso de la memoria de trabajo espacial emergen como aspectos centrales en el desarrollo de tareas tecnológicas. Estas observaciones son coherentes con las investigaciones previas de Osiurak et al. (2020), quien plantea que el PT está destinado a la manipulación, abstracción y transformación del mundo físico, ubicando dicho proceso en el lóbulo parietal inferior izquierdo. Este autor también destaca que los procesos subyacentes del razonamiento tecnológico son parcialmente operativos a partir de los seis años (Osiurak y Badets, 2016; Osiurak et al., 2020).

En relación a las implicaciones para el diseño e implementación de ATE y ACE, los hallazgos de este estudio abren oportunidades importantes para el diseño e implementación de Actividades Científicas Escolares (ACE) y Actividades Tecnológicas Escolares (ATE), de manera que sean pertinentes y coherentes con las características específicas del PC y el PT.

En el caso de las ACE, es crucial integrar actividades que fomenten el diálogo interno y la autorreflexión. Estas actividades deben promover la formulación de hipótesis, la observación sistemática y la experimentación, utilizando la explicación verbal como una herramienta fundamental para fortalecer los procesos cognitivos asociados al PC. Por ejemplo, se podrían diseñar tareas que requieran a los estudiantes observar fenómenos científicos, formular preguntas, generar explicaciones tentativas y evaluar esas explicaciones a través de la experimentación.

Por otro lado, las ATE deberían centrarse en actividades que promuevan la manipulación de herramientas y la visualización espacial, aspectos fundamentales para el desarrollo del PT. Las tareas tecnológicas deben enfatizar el control visomotor y la memoria de trabajo espacial, lo cual podría lograrse a través de simulaciones mentales y ejercicios prácticos que involucren la creación, diseño y resolución de problemas tecnológicos. Estas actividades deben ofrecer oportunidades para que los estudiantes utilicen herramientas, experimenten con prototipos y simulen posibles soluciones antes de implementarlas.

Por su parte, una combinación de ACE y ATE adecuadamente diseñadas puede generar un entorno de aprendizaje equilibrado, que fomente tanto el PC como el PT. Esto permitirá que los estudiantes desarrollen diferentes habilidades cognitivas, movilizándose áreas cerebrales específicas según las demandas de cada tipo de tarea. Una educación que integre ambas formas de pensamiento no solo reflejará las interacciones entre ciencia y tecnología, sino que también preparará mejor a los estudiantes para enfrentar problemas

complejos desde perspectivas diversas, aportando a su desarrollo integral en un mundo que cada vez exige mayor interdisciplinariedad entre ambos dominios.

En referencia a los hallazgos y a los alcances éticos de los mismos, es imprescindible reflexionar frente a implicaciones éticas, legales y regulatorias de la de la utilización de neurotecnologías, al respecto, el Comité Internacional de Bioética de la UNESCO (2022) plantea preocupaciones como:

- La integridad cerebral/mental, la dignidad humana, la identidad personal, la autonomía, la privacidad mental, la libertad de pensamiento y el libre albedrío.
- El derecho a la libertad cognitiva, la privacidad mental, la integridad mental y la continuidad psicológica
- Los datos cerebrales son extremadamente sensibles y revelan procesos mentales íntimos. No deben utilizarse para vigilancia, perfilado sin consentimiento adecuado, ni discriminación basada en características cognitivas.
- El consentimiento informado es un principio fundamental pero su aplicación en neurotecnología es compleja debido a la incertidumbre sobre riesgos/beneficios, la naturaleza de los datos neuronales y el potencial de la tecnología para afectar la capacidad de toma de decisiones o el sentido del yo.
- La neurotecnología para fines de mejora ("enhancement") plantea dilemas éticos significativos, incluyendo cuestiones sobre la definición de

"normalidad", la equidad en el acceso ("brecha de mejora"), y el riesgo de aumentar las disparidades y la discriminación.

- La gobernanza de la neurotecnología debe ser proactiva y responsable. Esto implica adoptar un enfoque "ético por diseño", fomentar la innovación responsable (RRI), y promover la participación multidisciplinaria, el compromiso con el público y la industria, y la transparencia.

En el marco de estas preocupaciones, Chile se convirtió en el primer país del mundo en legislar sobre neuroderechos, marcando un hito histórico al aprobar la Ley N.º 21.383 (2021) y reformar el artículo 19 de su Constitución. Esta iniciativa, pionera a nivel global, busca proteger la integridad física y psíquica de las personas frente al avance de neurotecnologías capaces de acceder, alterar o influir en la actividad cerebral. Entre sus pilares destacan: la neuroprotección (prohibiendo intervenciones cerebrales sin consentimiento), la privacidad mental (considerando los datos neuronales como información sensible), y la autonomía cognitiva (garantizando el derecho a pensar y decidir sin coerción). Es de resaltar que, la ley prohíbe expresamente la neurodiscriminación y exige consentimiento informado para cualquier tecnología que interactúe con el cerebro.

Estas preocupaciones frente a la neurotecnología ilustran cómo toda tecnología posee una dimensión ética intrínseca y no neutral, según el marco teórico desarrollado por Ihde (2017). El autor sostiene que las tecnologías no constituyen meros instrumentos pasivos, sino que transforman activamente los modos de percepción, acción y

comprensión humana. Esta postura refuta la concepción instrumentalista que considera la tecnología como entidad neutral cuyo valor ético dependería exclusivamente de su aplicación.

Ihde (2017) enfatiza que los artefactos tecnológicos se encuentran culturalmente situados y conforman un "tecnosistema" que estructura la experiencia cotidiana, fenómeno que frecuentemente oscurece su carácter transformador. En su análisis se revela una relación dialéctica entre humanos y tecnología: mientras que los artefactos amplían capacidades, simultáneamente reconfiguran la agencia humana, desarticulando así nociones simplistas sobre el control unidireccional de la tecnología.

La anterior perspectiva adquiere particular relevancia en el ámbito de la neurotecnología, donde la interacción directa con procesos neurales intensifica cuestiones éticas fundamentales acerca de la autonomía, la justicia y las relaciones de poder. El enfoque de Ihde (2017) propone que la regulación tecnológica requiere superar paradigmas reduccionistas mediante marcos conceptuales que reconozcan tanto la multiestabilidad cultural de la tecnología como su papel constitutivo en la configuración de la experiencia humana.

En general, más allá del poder transformador que intrínsecamente tiene cualquier tecnología, el afán por regular la neurotecnología es legítima, dada su condición de interactuar tan íntimamente con el cerebro, llevando de este modo a la regulación a un nivel de urgencia y especificidad sin precedentes. Sin embargo, es importante garantizar que la regulación no lleve a la restricción, dado que el conocimiento que posibilita el uso

de neurotecnología posibilitan implementar salvaguardas para atender las preocupaciones que plantea el Comité Internacional de Bioética de la UNESCO (2022) en su informe.

Por otro lado, en el marco del informe de Thomas et al., (2019), la revisión y marco teórico en el campo de la neuro educación propuesto por Han et al., (2019), en la revisión sistemática sobre prevalencia de los neuromitos en educadores de Torrijos-Muelas, González-Villora y Bodoque-Osma, (2021), y en contraste con el desarrollo de la presente tesis doctoral se destaca:

- En relación al planteamiento Thomas et al., (2019), frente a que la traducción de la investigación neurocientífica a la práctica educativa es intrínsecamente difícil, se demuestra que desde la práctica educativa se puede traducir a la práctica neurocientífica, enfrenta los desafíos metodológicos que esto conlleva, como por ejemplo la necesidad de adoptar diseños de investigación rigurosos como los la aplicación de pruebas y la utilización de neurotecnologías en el contexto de la educación.
- Pese a las críticas que plantean por Han et al., (2019), frente a la falta de conexiones directas y significativas entre los hallazgos de la neurociencia y la práctica educativa, y los requerimientos que sugieren en relación a conectar las explicaciones psicológicas y neurales, el presente estudio evidencia la posibilidad de establecer dichas conexiones a partir del estudio de la actividad cerebral producida en actividades escolares cotidianas. Además, cuestiona los planteamientos presentados por los autores respecto a la existencia de una brecha metodológica donde

técnicas de neurociencia como fMRI, o EEG son complejas para los educadores, y los métodos educativos pueden ser ajenos a los neurocientíficos.

- En este mismo sentido, se atiende muchas de las preocupaciones presentadas por Han et al., (2019), como, por ejemplo, la validez ecológica (aplicabilidad directa en entornos educativos auténticos como el aula) y diseños de investigación que integren metodologías de ambos campos (Neuro – educación, estudios en el aula con neuro tecnología portátil). En este mismo sentido se demuestra una comunicación de doble vía entre neurociencia y educación a partir de una interacción recíproca durante todo el estudio. Es de resaltar que en esta oportunidad el estudio se origina desde el contexto de la educación y no de la neuroeducación como es habitual.
- En cuanto a la prevalencia de los neuromitos en educadores, la actividad observada durante los registros EEG y el posterior análisis con una parcelación 360 regiones corroboran que usamos más del 10% del cerebro Torrijos-Muelas et al. (2021).
- Se atiende en cierta medida la preocupación de Torrijos-Muelas et al. (2021), en relación a reducir la brecha entre la neurociencia y la educación. Además, se brinda, desde los hallazgos, elementos para distinguir hechos científicos de mitos, así mismo identificar falsas creencias.

Para finalizar, en función de los hallazgos y en marco de lo que conllevo la realización del presente estudio, se suscitan las siguientes reflexiones.

Frente a la postura asumida es este estudio en relación a ¿Qué es el pensamiento? se considera agregar, que es una actividad mental intencionada que involucra un dialogo interno consigo mismo en función de la tarea, que además involucra la simulación mental tanto visual como motora de posibles resultados de una acción o la recreación mental de una situación dada. Cabe agregar, que pensar (en el marco de las pruebas aplicadas) involucra, en cierta medida, la construcción de una imagen propia cuando una actividad requiere la visualización de sí mismo en una perspectiva en tercera persona. También es importante resaltar que la “calidad” de dichas simulaciones, se presume, está estrechamente ligada a la riqueza de experiencias previas con las que se cuenta (no en vano los resultados evidencian una importante actividad en la recuperación de memorias de orden episódico), las cuales, valga resaltar, deben gestionarse desde el contexto educativo, tanto formal como informal. En función de lo anterior, valdría la pena preguntarse ¿cómo se dan estos procesos en personas con discapacidad motora severa? O en el contexto de la neuroplasticidad y del presente estudio, ¿Cómo se reasignan funciones a las diferentes áreas de cerebro cuando existe daño cerebral?

En cuanto a los niveles de formación técnica que plantea Merchán (2018), en contraste con los hallazgos, surge la pregunta ¿Qué relaciones de diferencia o similitud pueden encontrarse a nivel de actividad cerebral en individuos con diferentes niveles de formación técnica? ¿Qué cambia en la actividad cerebral cuando se avanza al siguiente nivel? En el marco de referencia que plantea Strimel (2014) ¿Cómo cambia la actividad

cerebral cuando se transita de principiante a experto en un determinado ámbito de estudio?

9 Conclusiones

En el marco de los hallazgos obtenidos a lo largo de esta investigación, se concluye que:

En función del primer objetivo, durante la resolución de Actividades Científicas Escolares (ACE) (enfocadas en la ley de la gravedad – caída libre), se reveló una activación predominante en áreas auditivas y somatosensoriales, tales como A1 (área auditiva temprana) y 3b (área somatosensorial y motora). Esto subraya la relevancia de dichas áreas en el procesamiento de estímulos verbales y sensoriales, los cuales son necesarios para la comprensión científica. La activación en el cíngulo posterior refuerza la importancia de la memoria de trabajo y la atención sostenida en el desarrollo del Pensamiento Científico (PC). Además, la activación del prefrontal dorsolateral (8BL) destaca la planificación y el control ejecutivo como procesos esenciales en este contexto. Es importante subrayar que la actividad de las regiones involucradas con el procesamiento auditivo y del habla, se relacionan con el diálogo interno requerido para enfrentar este tipo de tareas.

En el marco del segundo objetivo, durante la resolución de Actividades Tecnológicas Escolares (ATE) (enfocadas en la evaluación de eficacia y eficiencia) se evidencia una preponderancia en la activación de áreas visuales, como VMV3 y V3B, que forman parte de la corriente ventral visual. Estas áreas son fundamentales para la percepción del movimiento y la manipulación de herramientas/objetos. La activación de áreas parietales superiores e inferiores, como MIP y 7Pm, destaca la importancia de la memoria de trabajo espacial y el control motor preciso en las actividades tecnológicas.

Estos resultados confirman que el Pensamiento Tecnológico (PT) se basa en un procesamiento visual y motor detallado, orientado hacia la manipulación efectiva de herramientas/objetos y el control espacial. Es de resaltar que muchos de dichos procesos visomotores se presentaron a nivel interno en el marco de la simulación mental.

Para el tercer objetivo, al resolver Actividades Tecno-científicas Escolares (ATCE) (caída libre – eficacia/eficiencia), se observó una activación cerebral distribuida que integra tanto elementos del Pensamiento Científico (PC) como del Pensamiento Tecnológico (PT). Áreas como la unión temporo-parieto-occipital (TPOJ3) y el parietal inferior (IP1) presentaron una mayor activación, lo que evidencia la integración de múltiples modalidades sensoriales en estas tareas. Además, las áreas prefrontales dorsolaterales, que son activas en PC, también mostraron activación durante las ATCE, lo que sugiere que la planificación y el control ejecutivo juegan un papel crucial en este tipo de actividades que combinan la ciencia con la tecnología.

En cuanto al cuarto objetivo, el análisis comparativo entre el Pensamiento Científico (PC) y el Pensamiento Tecnológico (PT) revela tanto similitudes como diferencias en los modos de activación cerebral. Con referencia a sus similitudes, ambas categorías comparten la activación de áreas multisensoriales y motoras, como el parietal superior y el cíngulo posterior, lo que refleja la necesidad de integración sensorial y control motor en la resolución de las tareas. Respecto a sus diferencias, el PC se caracteriza por una mayor activación de áreas auditivas y somatosensoriales, esenciales para el análisis verbal y aritmético (cálculo), mientras que el PT se enfoca más en el procesamiento visual y espacial, indispensable para la manipulación de herramientas y la

integración de experiencias visuales. Las diferencias en la activación del prefrontal dorsolateral (8BL) y el temporal medial (PHA2) refuerzan las particularidades de cada tipo de pensamiento, priorizando el PC el análisis verbal (orientado al dialogo interno) y el PT la interacción espacial y visual (imaginería mental).

En relación a la pregunta que motivo la presente investigación: ¿Cuáles son las relaciones de similitudes y diferencias que existe entre el pensamiento tecnológico y el pensamiento científico a partir del análisis y comparación cuantitativa de las señales encefalografías que se producen en los estudiantes de Ciclo 4 de educación al resolver Actividades Tecnológicas Escolares (ATE) , Actividades Científicas Escolares (ACE) y Actividades Tecno-científicas Escolares (ATCE)? , el análisis revela tanto diferencias como similitudes en los modos de pensamiento. Mientras que el pensamiento científico (PC) se enfoca en la activación de áreas auditivas y somatosensoriales para el análisis y procesamiento de información sensorial, el pensamiento tecnológico (PT) activa regiones visuales y espaciales, orientadas a la manipulación y resolución práctica de problemas. Estas diferencias subrayan las particularidades cognitivas de cada dominio, lo que implica que las actividades científicas y tecnológicas movilizan distintos circuitos cerebrales según las demandas específicas de cada tipo de tarea. Frente a sus similitudes, aunque el PC y el PT tienen patrones distintos, comparten áreas relacionadas con la atención y memoria de trabajo, destacando que estos modos de pensamiento son complementarios. En este sentido las actividades tecno-científicas (ATCE) integran ambos tipos de pensamiento, evidenciando un procesamiento cognitivo más complejo que combina elementos sensoriales y prácticos.

Por otro lado, frente a los hallazgos y su relación con el marco teórico, los resultados para PT son consistentes con lo planteado por Gagnepain y Le Gall (1998), quienes mencionan como un principio clave del PT la capacidad de reconocer medios tecnológicos en la materialidad física. Esto está directamente relacionado con el procesamiento visual que se describe en el apartado anterior. La activación de áreas visuales como VMV3 y V3B durante las ATE refleja este reconocimiento.

Por su parte, respecto al marco conceptual asumido para el PT (sección 5.3.3.), los hallazgos son consistentes y complementarios. Los resultados indican que el PT implica un procesamiento visual y motor detallado, especialmente en la manipulación tanto mental como física de herramientas y objetos, lo que confirma la relación entre cognición y acción física. Asimismo, tanto los supuestos teóricos como los hallazgos coinciden en que el PT es un proceso cognitivo especializado y orientado a la resolución de problemas físicos

En este mismo sentido, y de manera complementaria, los resultados indican que el procesamiento visual y motor son un ejemplo concreto de cómo los mecanismos neuronales son compartidos con otras actividades mentales pero modulados de manera específica para el PT. En conjunto, tanto los supuestos teóricos como los hallazgos del presente estudio ofrecen una visión completa del PT como un proceso que combina elaboración mental y simulación de la acción práctica, sustentado en la integración de mecanismos neuronales específicos.

En relación con los hallazgos obtenidos para el Pensamiento Científico (PC) y los postulados teóricos asumidos, se destaca, desde una perspectiva teórica, el carácter

explicativo del PC. Este se refleja en la necesidad de comprender el mundo y de indagar sobre situaciones desconocidas, mediante la búsqueda imaginativa de explicaciones posibles y la planificación creativa para dar respuesta a las inquietudes planteadas (Furman, 2016). Desde una perspectiva empírica, este carácter explicativo puede vincularse con la actividad cerebral registrada en áreas auditivas y somatosensoriales, como A1 y 3b, esenciales para el procesamiento de estímulos verbales y sensoriales. Uno de los resultados más inesperados fue precisamente la actividad observada en las áreas de procesamiento auditivo y del habla, dadas las condiciones en las que se realizó la prueba. Sin embargo, esta actividad puede asociarse con lo que la literatura denomina habla interna o diálogo interno (Perrone-Bertolotti et al., 2014; Grandchamp et al., 2019). En este sentido, dicha manifestación podría estar vinculada a la elaboración de explicaciones ante una situación dada, a través del diálogo interno con uno mismo.

Por otro lado, a los hallazgos contribuyen significativamente al contexto educativo, especialmente en lo que respecta a la comprensión de los procesos cognitivos involucrados en el pensamiento científico (PC), tecnológico (PT) y tecno-científico (ATCE). A continuación, se sintetizan los principales aportes:

- Comprensión neuroeducativa del aprendizaje: Los resultados revelan correlatos neurobiológicos diferenciados para cada tipo de pensamiento, lo que permite identificar con mayor precisión qué áreas cerebrales se activan durante la resolución de distintas tareas escolares. Esto proporciona una base empírica para el diseño de prácticas pedagógicas cada vez más eficaces y ajustadas a los modos cognitivos específicos de cada dominio.

- **Diseño instruccional basado en neurodiversidad:** Se evidencia que el PC está vinculado a procesos verbales, somatosensoriales y de planificación ejecutiva, mientras que el PT se apoya en mecanismos visoespaciales y motores. Esta diferenciación invita a repensar el diseño curricular, fomentando estrategias que integren tanto el razonamiento abstracto como la manipulación práctica, para potenciar de este modo el desarrollo integral de habilidades cognitivas.
- **Valor de la integración en el pensamiento tecno-científico:** Las ATCE mostraron una activación cerebral distribuida, integrando funciones del PC y el PT. Esto demuestra que la educación orientada a la resolución de problemas complejos debe promover la hibridación de saberes científicos y tecnológicos, favoreciendo el desarrollo de competencias transversales como la planificación, el razonamiento multimodal y la toma de decisiones.
- **Implicaciones para la didáctica y evaluación:** En cuanto al hallazgo relacionado con que el diálogo interno está implicado en las tareas relacionadas con objetos que caen refuerza la necesidad de fomentar prácticas que estimulen la metacognición. Asimismo, la asociación del PT con simulación mental y control motor sugiere que el uso de herramientas concretas y entornos de aprendizaje activos puede optimizar la experiencia educativa.
- **Aportes epistemológicos y pedagógicos:** Desde una perspectiva epistemológica, se refuerza la idea de que los modos de pensamiento escolar no son homogéneos, sino que se estructuran en función de las demandas cognitivas específicas de cada campo disciplinar. Pedagógicamente, estos hallazgos sugieren que es necesario

diversificar las estrategias de enseñanza, reconociendo las múltiples vías mediante las cuales los estudiantes procesan y construyen conocimiento.

- Fundamento empírico para la neuroeducación: El estudio se inserta dentro de un enfoque neuroeducativo emergente que busca puentes entre la neurociencia cognitiva y la práctica pedagógica. Al mapear activaciones cerebrales específicas asociadas a tareas escolares, ofrece una base científica para justificar metodologías diferenciadas, sustentadas en cómo funciona el cerebro durante el aprendizaje disciplinar.

En función de lo anterior, no se puede negar que uno de los principales retos que enfrenta la Universidad Pedagógica Nacional, en su papel de formadora de formadores, es incorporar de manera crítica, ética y pedagógica, los avances más significativos de la neuroeducación, la neurociencia y la neurotecnología en los programas de formación docente. Esta integración exige superar la persistencia de neuromitos y fomentar una comprensión rigurosa de los procesos cerebrales involucrados en el aprendizaje, con el fin de preparar educadores capaces de traducir este conocimiento en prácticas pedagógicas contextualizadas, inclusivas y basadas en evidencia.

Al respecto, es necesario una actualización curricular que integre contenidos validados en neurociencia educativa; una formación crítica que propicie una postura reflexiva frente a los aportes reales de las neurociencias, evitando reduccionismos; el desarrollo de competencias tecnocientíficas que habiliten el uso ético y pedagógico de herramientas como el EEG o el neurofeedback en contextos escolares; y la promoción de la investigación e innovación educativa desde una perspectiva interdisciplinaria que vincule en doble vía la neurociencias con la práctica docente.

10 Alcances y limitaciones

El presente estudio doctoral aporta información valiosa sobre los patrones de activación cerebral asociados al Pensamiento Científico (PC) y Pensamiento Tecnológico (PT) en estudiantes de Ciclo 4 de educación, generando un marco teórico-empírico para comprender las bases neuronales de estos procesos cognitivos. Los principales alcances y limitaciones se presentan a continuación:

Alcances

- *Contribución al conocimiento neurocognitivo:* El estudio identifica áreas cerebrales específicas activadas durante la realización de tareas ACE, ATE y ATCE, aportando evidencia empírica sobre las diferencias y similitudes entre el PC y el PT. Esto contribuye a la literatura científica al integrar datos cuantitativos de neuroimagen con análisis cualitativos de las tareas.
- *Diseño metodológico innovador:* El uso de tecnologías como el análisis de señales encefalografías (EEG) permite una exploración precisa de la actividad cerebral en contextos educativos, lo cual es clave para entender cómo los estudiantes procesan tareas científicas y tecnológicas. Es importante agregar que la metodología emplea propone un protocolo investigativo replicable en estudios en el ámbito escolar que busquen indagar respecto a la actividad cerebral generada por una actividad escolar específica

- *Implicaciones prácticas:* Los hallazgos ofrecen una base para diseñar estrategias y didácticas educativas que fomenten tanto el PC como el PT, con actividades que integren el diálogo interno, la visualización espacial, la manipulación de herramientas y la simulación mental.

Limitaciones

- *Muestra restringida:* La investigación se centra en estudiantes de un rango específico (Ciclo 4 de educación), lo cual limita la generalización de los resultados a otros niveles educativos, a contextos de educación no técnicos o grupos etarios.
- *Enfoque en tareas específicas:* Las actividades utilizadas (ACE, ATE y ATCE) están diseñadas en función de ciertos objetivos pedagógicos, lo que podría no capturar la totalidad de las características del PC y el PT en otros contextos o disciplinas.
- *Interpretación de áreas inesperadas:* Aunque se identificaron activaciones en regiones como la corteza auditiva y somatosensorial en ausencia de estímulos específicos, estas interpretaciones se basan en literatura previa sobre diálogo interno y simulación mental. Estudios futuros podrían explorar estas activaciones de manera más directa.
- *Limitación en la evaluación longitudinal:* El estudio ofrece un análisis puntual de la actividad cerebral durante las tareas, pero no evalúa cómo estos patrones pueden evolucionar con la práctica o el desarrollo de habilidades específicas en los estudiantes.

- *Limitación en la incorporación de sistemas interconectados:* Pese que el estudio busco garantizar estados de relajación durante la toma de registro no se consideró la incidencia del factor emocional de los participantes en esta, al respecto Thomas, Ansari, y Knowland (2019), señalan que el cerebro tiene múltiples sistemas de aprendizaje interconectados que operan a diferentes escalas de tiempo y responden de manera distinta al entrenamiento y a factores como la motivación y el estado emocional. Vale la pena agregar que se requieren más estudios que permitan identificar patrones de estado emocional durante registros EEG con el fin de identificar correlatos entre emoción y aprendizaje.
- *Limitación en el tipo de tareas:* El estudio estuvo limitado a dos procesos cognitivos y tres tipos de tareas situación que no permitió explorar a fondo el resto de los procesos cognitivos que subyacen cada uno de los pensamientos estudiados.
- *Limitaciones en el acceso a neurotecnologías:* Si bien el registro EEG se utilizó un dispositivo portátil de bajo costo en comparación a dispositivos de orden médico, el software para su gestión puede a llegar ser costoso, Por otro lado, los softwares de libre acceso requieren una la inversión de tiempo importante en la curva de aprendizaje necesaria para el pre y post procesamiento de datos en bruto.

En conjunto, la tesis doctoral hasta aquí presentada representa un avance significativo en la comprensión de los procesos cognitivos vinculados al pensamiento científico y al pensamiento tecnológico, sentando las bases para investigaciones futuras que profundicen en las áreas no abordadas y extiendan el alcance de los hallazgos.

11 Líneas futuras de investigación

En concordancia con las limitaciones descritas en el apartado anterior y las reflexiones suscitadas en la discusión, además de las posibilidades que brinda la ruta metodológica planteada en la presente tesis, se proponen las siguientes líneas de futuras de investigación:

- Estudio de las bases neurológicas que subyacen a la fabricación de herramientas.
- Estudio de la caracterización del pensamiento científicamente en el contexto de la química y/o la biología.
- Estudio de las bases neurológicas que subyacen a la fabricación de herramientas.
- Influencia a nivel cerebral de la neuroarquitectura en el aprendizaje.
- Estudio de modelos predictivos para la identificación de déficits de aprendizaje a nivel cerebral.
- Estudio median EEG de la los procesos de mielinización en el aprendizaje escolar.
- Diseño de modelos neurales para la comprensión de los procesos de aprendizaje y optimización de metodologías educativas.
- Evaluación mediante neurotecnologías de la eficacia de métodos de enseñanza y aprendizaje, así como la medición del rendimiento estudiantil.

12 Referencias

- Aguirre, R. y Moreira, K. (2015). Lenguaje y pensamiento. En A. Vásquez (Ed.), *Manual de Introducción a la Psicología Cognitiva*. Udelar.
- Albornoz, M. (1999). Ciencia, la frontera sin fin Un informe al presidente, julio de 1945. *Redes*, VI(14), 89–156. <http://iec.unq.edu.ar/index.php/es/publicaciones/revista-redes/numeros-anteriores/item/67-redes-%E2%80%93revista-de-estudios-sociales-de-la-ciencia->
- Alderson-Day, B., Moffatt, J., Bernini, M., Mitrenga, K., Yao, B., y Fernyhough, C. (2020). Processing speech and thoughts during silent reading: Direct reference effects for speech by fictional characters in voice-selective auditory cortex and a theory-of-mind network. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 32(9), 1637-1653. https://doi.org/10.1162/jocn_a_01571
- Alderson-Day, B., Weis, S., McCarthy-Jones, S., Moseley, P., Smailes, D., y Fernyhough, C. (2016). The brain's conversation with itself: Neural substrates of dialogic inner speech. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 11(1), 110–120. <https://doi.org/10.1093/scan/nsv094>
- Arenas, A., Ortiz, C. y Álvarez, L. (2005). Transferencia del conocimiento tecnológico al aula: estructuración del pensamiento tecnológico mediante la enseñanza del diseño. *Revista UIS Ingenierías*, 4(2), 129–138. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=553756895003>
- Baars, B. J. y Gage, N. M. (2010). *Cognition, brain and consciousness: introduction to*

cognitive neuroscience. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/C2009-0-01556-6>

Babini, J. (1947). *Origen y naturaleza de la ciencia*. Espasa Calpe.

Báez, O. (2021). *Antología de ensayos de ciencias de la vida*. Periódico Opción.

Bardige, K. y Russell, M. (2014). *Collections: Un plan de estudios centrado en el método STEM*. Heritage Museums & Gardens Inc.

Baker, C. M., Burks, J. D., Briggs, R. G., Conner, A. K., Glenn, C. A., Morgan, J. P., Stafford, J., Sali, G., McCoy, T. M., Battiste, J. D., O'Donoghue, D. L., y Sughrue, M. E. (2018a). A connectomic atlas of the human cerebrum-chapter 2: the lateral frontal lobe. *Operative Neurosurgery (Hagerstown, Md.)*, 15(suppl_1), S10–S74. <https://doi.org/10.1093/ons/opy254>

Baker, C. M., Burks, J. D., Briggs, R. G., Sheets, J. R., Conner, A. K., Glenn, C. A., Sali, G., McCoy, T. M., Battiste, J. D., O'Donoghue, D. L., y Sughrue, M. E. (2018b). A connectomic atlas of the human cerebrum-chapter 3: the motor, premotor, and sensory cortices. *Operative Neurosurgery (Hagerstown, Md.)*, 15(suppl_1), S75–S121. <https://doi.org/10.1093/ons/opy256>

Baker, C. M., Burks, J. D., Briggs, R. G., Stafford, J., Conner, A. K., Glenn, C. A., Sali, G., McCoy, T. M., Battiste, J. D., O'Donoghue, D. L., y Sughrue, M. E. (2018c). A connectomic atlas of the human cerebrum-chapter 4: the medial frontal lobe, anterior cingulate gyrus, and orbitofrontal cortex. *Operative Neurosurgery (Hagerstown, Md.)*, 15(suppl_1), S122–S174. <https://doi.org/10.1093/ons/opy257>

Baker, C. M., Burks, J. D., Briggs, R. G., Conner, A. K., Glenn, C. A., Robbins, J. M., Sheets, J. R., Sali, G., McCoy, T. M., Battiste, J. D., O'Donoghue, D. L., y Sughrue,

M. E. (2018d). A connectomic atlas of the human cerebrum-chapter 5: the insula and opercular cortex. *Operative Neurosurgery (Hagerstown, Md.)*, 15(suppl_1), S175–S244. <https://doi.org/10.1093/ons/opy259>

Baker, C. M., Burks, J. D., Briggs, R. G., Milton, C. K., Conner, A. K., Glenn, C. A., Sali, G., McCoy, T. M., Battiste, J. D., O'Donoghue, D. L., y Sughrue, M. E. (2018f). A connectomic atlas of the human cerebrum-chapter 6: the temporal lobe. *Operative Neurosurgery (Hagerstown, Md.)*, 15(suppl_1), S245–S294. <https://doi.org/10.1093/ons/opy260>

Baker, C. M., Burks, J. D., Briggs, R. G., Conner, A. K., Glenn, C. A., Taylor, K. N., Sali, G., McCoy, T. M., Battiste, J. D., O'Donoghue, D. L., y Sughrue, M. E. (2018g). A connectomic atlas of the human cerebrum-chapter 7: the lateral parietal lobe. *Operative Neurosurgery (Hagerstown, Md.)*, 15(suppl_1), S295–S349. <https://doi.org/10.1093/ons/opy261>

Baker, C. M., Burks, J. D., Briggs, R. G., Conner, A. K., Glenn, C. A., Manohar, K., Milton, C. K., Sali, G., McCoy, T. M., Battiste, J. D., O'Donoghue, D. L., y Sughrue, M. E. (2018h). A connectomic atlas of the human cerebrum-chapter 8: the posterior cingulate cortex, medial parietal lobe, and parieto-occipital sulcus. *Operative Neurosurgery (Hagerstown, Md.)*, 15(suppl_1), S350–S371. <https://doi.org/10.1093/ons/opy262>

Baker, C. M., Burks, J. D., Briggs, R. G., Stafford, J., Conner, A. K., Glenn, C. A., Sali, G., McCoy, T. M., Battiste, J. D., O'Donoghue, D. L., y Sughrue, M. E. (2018i). A connectomic atlas of the human cerebrum-Chapter 9: The occipital lobe. *Operative*

Neurosurgery (Hagerstown, Md.), 15(suppl_1), S372–S406.

<https://doi.org/10.1093/ons/opy263>

Barsalou L. W. (2008). Grounded cognition. *Annual review of psychology*, 59, 617–645.

<https://doi.org/10.1146/annurev.psych.59.103006.093639>

Bartolo, A., Daumuller, M., Della Sala, S. y Goldenberg, G. (2007). Relationship between object-related gestures and the fractionated object knowledge system. *Behavioural Neurology*, 18, 143–147.

Brainstorm. (n.d.). Source estimation. Neuroimage.

<https://neuroimage.usc.edu/brainstorm/Tutorials/SourceEstimation>

Bernaud, J. L., Priou, P. y Simonnet, R. (1994). *Batterie multifactorielle d'aptitudes [Multifactorial Assessment Battery]*. du Centre de Psychologie Appliquée.

Bourne, L., Ekastrand, B. y Dominowski, R. (1975). *Psicología del pensamiento*. Trillas.

Bunge, M. A. (1997). *La ciencia: su método y su filosofía*. Siglo Veinte.

Bunge, M. A. (1999). *Las ciencias sociales en discusión*. Editorial Sudamericana.

Bunge, M. A. (2002). *Epistemología* (tercera). siglo veintiuno editores.

Buxbaum, L. y Saffran, E. (2002). Knowledge of object manipulation and object function: dissociations in apraxic and nonapraxic subject. *Brain and Language*, 82, 179–199.

Buxbaum, L., Sirigu, A., Schwartz, M. y Klatzky, R. (2003). Cognitive representations of hand posture in ideomotor apraxia. *Neuropsychologia*, 41, 1091–1113.

Buxbaum, L. J., Johnson-Frey, S. H., & Bartlett-Williams, M. (2005a). Deficient internal models for planning hand-object interactions in apraxia. *Neuropsychologia*, 43(6),

917–929. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2004.09.006>

Camelo, S., Rojas, D., Castro, R. y Mejía, A. (2015). Registro de la actividad eléctrica cerebral de la atención implicada en la conducción bajo el efecto del alcohol.

Perspect. Psicol., 11(2), 217–233.

<http://www.scielo.org.co/pdf/dpp/v11n2/v11n2a05.pdf>

Cárdena, G. A. (2002). *Diccionario de Ciencias Económico Administrativas* (3ª edición). CUCEA.

Cárdenas, E. (2013). Pensamiento Tecnológico en una muestra de estudiantes del área de Tecnología e Informática Assessment of Technological Thought Attributes in a Sample of Students from the Technology and Informatics Field. *Informador Técnico*, 77, p 125-135.

Centro de Estudios Sociales y de Opinión Pública. (2006). “Definición” en *Ciencia y Tecnología*.

http://archivos.diputados.gob.mx/Centros_Estudio/Cesop/Comisiones/d_cyt.htm

Chalmers, A. F. (2000). *¿Qué es esa cosa llamada ciencia?* (3.ª ed. corregida y aumentada). Siglo XXI Editores.

Chaquea, D. y Chamorro, C. D. (2013). Aproximación conceptual de técnica y tecnología en un marco de desarrollo de proyectos. *Revista Nexus Comunicación*, 13(1), 148–173. <https://doi.org/10.25100/nc.v1i13.766>

Congedo, M., Lubar, J. y Joffe, D. (2004). Low-resolution electromagnetic tomography neurofeedback. *IEEE*, 12(4), 387–397. <https://doi.org/10.1109/TNSRE.2004.840492>

Comité Internacional de Bioética de la UNESCO. (2022). *Cuestiones éticas de la*

neurotecnología. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO). <https://doi.org/10.54678/QNKB6229>

Cupani, A. (2006). La peculiaridad del conocimiento tecnológico. *Scientiae Studia*, 4, 353–371. <https://www.scielo.br/j/ss/a/STXgdYmmHXL4Qjcb5xYqrDm/?lang=es>

Daly, I., Bourgaize, J. y Vernitski, A. (2019). Mathematical mindsets increase student motivation: Evidence from the EEG. *Trends in Neuroscience and Education*, 15, 18–28. <https://doi.org/10.1016/j.tine.2019.02.005>

Dampier, W. (1972). *Historia de la Ciencia*. Tecnos Editorial.

Dan, A. y Reiner, M. (2017). Real time eeg based analysis of cognitive load enhance instructional analysis. *Journal of Educational Data Mining*, 9(2), 31–44. <https://jedm.educationaldatamining.org/index.php/JEDM/article/view/160>

De Vega, M. (1990). *Introducción a la psicología cognitiva*. Alianza Editorial.

Dehaene, S. (2019). *Cómo aprendemos* (1a ed.). siglo veintiuno.

Díaz, I. y García, M. (2011). Más allá del paradigma de la alfabetización . la adquisición de cultura científica como reto educativo. *Formación Universitaria*, 4(2), 3–14. <https://doi.org/10.4067/S0718-50062011000200002>

Dunbar, K. y Fugelsang, J. (2005a). Brain-based mechanisms underlying complex causal thinking. *Neuropsychologia*, 43(8), 1204–1213. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2004.10.012>

Dunbar, K. y Fugelsang, J. (2005b). Causal thinking in science: how scientists and students interpret the unexpected. En M. Gorman, R. Tweney, D. Gooding y A. Kincannon (Eds.), *Scientific And Technological Thinking* (pp. 57–79). Lawrence

Erlbaum Associates.

Dunbar, K. y Klahr, D. (2012). Scientific Thinking and Reasoning. En K. J. Holyoak y R.

G. Morrison (Eds.), *The Oxford Handbook of Thinking and Reasoning* (Número

April 2013, pp. 701–718). Oxford University Press.

<https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780199734689.001.0001>

Dunbar, K. N. (2009). The biology of physics : what the brain reveals about our

understanding of the physical world. *AIP Conference Proceedings*, 1179(1).

<https://doi.org/https://doi.org/10.1063/1.3266703>

Dunbar, K. N. (2014). *What scientific thinking reveals about the nature of cognition*.

January 2001.

Edelman, G. M. (1992). *Bright, air, brilliant fire: On the matter of the mind*. Basic

Books.

Ellul, J. (2003). *La edad de la técnica*. Ediciones Octaedro.

Federico, G., Reynaud, E., Navarro, J., Lesourd, M., Gaujoux, V., Lambertson, F.,

Ibarrola, D., Cavaliere, C., Alfano, V., Aiello, M., Salvatore, M., Seguin, P.,

Schnebelen, D., Brandimonte, M. A., Rossetti, Y. y Osiurak, F. (2022). The cortical

thickness of the area PF of the left inferior parietal cortex mediates technical-

reasoning skills. *Scientific Reports* |, 12, 11840. [https://doi.org/10.1038/s41598-022-](https://doi.org/10.1038/s41598-022-15587-8)

15587-8

Feenberg, A. (1999). *Questioning technology*. Routledge.

Fugelsang, J. A., Roser, M. E., Corballis, P. M., Gazzaniga, M. S. y Dunbar, K. N.

(2005). *Brain mechanisms underlying perceptual causality*. 24, 41–47.

<https://doi.org/10.1016/j.cogbrainres.2004.12.001>

Fugelsang, J. y Dunbar, K. (2005). Scientific thinking and reasoning. En K. Holyoak y R. Morrison (Eds.), *The Cambridge Handbook of Thinking and Reasoning* (pp. 705–725). Cambridge University Press.

Furman, M. (2016). Título del libro: Educar mentes curiosas: la formación del pensamiento científico y tecnológico en la infancia. En *Espiral. Cuadernos Del Profesorado* (Vol. 10, Número 20). Fundación Santillana.

<https://doi.org/10.25115/ecp.v10i20.1015>

Gay, A. y Ferreras, M. A. (1997). *La educacion tecnologica : aportes para su implementacion / Aquiles Gay, Miguel Angel Ferreras ; Ministerio de Cultura y Educacion.*

http://www.bibliotecadonbosco.com.ar/index.php?p=show_detail&id=7249&keywords=

Glasser, M. F., Coalson, T. S., Robinson, E. C., Hacker, C. D., Harwell, J., Yacoub, E., Ugurbil, K., Andersson, J., Beckmann, C. F., Jenkinson, M., Smith, S. M., & Van Essen, D. C. (2016). A multi-modal parcellation of human cerebral cortex. *Nature*, 536(7615), 171–178. <https://doi.org/10.1038/nature18933>

Goldenberg, G. y Hagmann, S. (1998). Tool use and mechanical problem solving in apraxia. *Neuropsychologia*, 36, 581–589.

González, W. y Hernández, L. (2000). Tecnología y técnica: tres perspectivas. En *Energía y computación* (Vol. 9, Número 15, p. 7).

<http://bibliotecadigital.univalle.edu.co/xmlui/bitstream/handle/10893/1344/Tecnolog>

ia y tecnica.pdf?sequence=6

- Grandchamp, R., Rapin, L., Perrone-Bertolotti, M., Pichat, C., Haldin, C., Cousin, E., Lachaux, J. P., Dohen, M., Perrier, P., Garnier, M., Baciú, M., & Lœvenbruck, H. (2019). The ConDialInt model: Condensation, dialogality, and intentionality dimensions of inner speech within a hierarchical predictive control framework. *Frontiers in Psychology, 10*, 2019. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.02019>
- Grech, R., Cassar, T., Muscat, J., Camilleri, K. P., Fabri, S. G., Zervakis, M., Xanthopoulos, P., Sakkalis, V., & Vanrumste, B. (2008). Review on solving the inverse problem in EEG source analysis. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation, 5*(1), 5-25. <https://doi.org/10.1186/1743-0003-5-25>
- Halfin, H. H. (1973). *Technology: A process approach*. (Doctoral dissertation, West Virginia University, 1973).
- Hartmann, K., Goldenberg, G., Daumüller, M. y Hermsdorfer, J. (2005). It takes the whole brain to make a cup of coffee: the neuropsychology of naturalistic actions involving technical devices. *Neuropsychologia, 43*, 625–637.
- Heilman, K. M., Maher, L. M., Greenwald, M. L. y Rothi, L. J. (1997). Conceptual apraxia from lateralized lesions. *Neurology, 49*, 457–464.
- Hernández, L. (2020). *La técnica moderna. reflexiones epistemológicas* (1ª). Colección Artes y Humanidades- Filosofía. <https://doi.org/10.25100/peu.454>
- Hill, R. B. (1997). The design of an instrument to assess problem solving activities in technology education. *Journal of Technology Education, 9*(1).
- Hill, R. B. y Wicklein, R. C. (1999). A factor analysis of primary mental processes for

technological problem solving. *Journal of Industrial Teacher Education*, 36(2).

Hodges, J., Bozeat, S., Lambon Ralph, M., Patterson, K. y Spatt, J. (2000). The role of knowledge in object use: evidence from semantic dementia. *Brain*, 123, 1913–1925.

Hodges, J., Spatt, J. y Patterson, K. (1999). ““What”” and ““how””: evidence for the dissociation of object knowledge and mechanical problem-solving skills in the human brain. *Proceeding of the National Academy of Sciences of the USA*, 96, 9444–9448.

Holyoak, K. J. y Morrison, R. G. (2012). Thinking and reasoning: a reader’s guide. En K. J. Holyoak y R. G. Morrison (Eds.), *The Oxford Handbook of Thinking and Reasoning* (pp. 1–7). Oxford University Press.

<https://doi.org/10.1093/OXFORDHB/9780199734689.013.0001>

Hund, E. (1997). Nature vs. nature: the feeling of vuja de. En R. J. Sternberg y E. Grigorenko (Eds.), *Intelligence, Heredity, and Environment*, Cambridge. Cambridge University Press.

Ihde, D. (2017). *Tecnologia e o mundo da vida: do jardim à terra* (M. F. Bozatski, Trad.). Editora UFFS. <https://books.scielo.org/id/zcvh9/pdf/ihde-9788564905610.pdf>

Jatoi, M. A., Kamel, N., Malik, A. S., y Faye, I. (2014a). EEG based brain source localization comparison of sLORETA and eLORETA. *Australasian Physical & Engineering Sciences in Medicine*, 37(4), 713-721. <https://doi.org/10.1007/s13246-014-0297-4>

Jatoi, M. A., Kamel, N., Malik, A. S., Faye, I., y Begum, T. (2014b). A survey of

- methods used for source localization using EEG signals. *Biomedical Signal Processing and Control*, 11, 42-52. <https://doi.org/10.1016/j.bspc.2014.01.009>
- Kim, H.-P. (2010). Analysis of eeg activities of elementary school students in the process of technological problem solving. *Journal of Korean Practical Arts Education*, 16(3), 15–34.
- Kim, H.-P. (2011). Analysis of EEG Activities of High Students in the Process of Thinking of a Invention Problem. *Revista de la Sociedad Coreana de Educación Técnica*, 11(1), 128–144.
- Koslowski, B. (1996). *Theory and evidence: The development of scientific reasoning*. MIT Press.
- Kosslyn, S. M., Thompson, W. L., y Ganis, G. (2006). *The case for mental imagery*. Oxford University Press.
- <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780195179088.001.0001>
- Kuhn, D. (1989). Children and adults as intuitive scientists. *Psychological Review*, 96, 674–689.
- Kuhn, D. (2005). *Education for thinking*. Harvard University Press.
- Kuhn, D. y Franklin, S. (2006). The second decade: What develops (and how). En W. Damon y R. M. Lerner (Eds.), *Handbook of child psychology* (pp. 953–993). John Wiley & Sons.
- Ladriere, J. (1977). *El reto de la racionalidad*. Salamanca. Ediciones Sígueme.
- Liz, M. (1995). Conocer y actuar a través de la tecnología. En F. Brocano (Ed.), *Nuevas meditaciones sobre la tecnología*. Trotta.

- Maggio, M. (2018). *Habilidades del siglo XXI : cuando el futuro es hoy - XIII Foro Latinoamericano de Educación* (1a ed.). Santillana.
- Magno, C. (2015). *A Measure for Scientific Thinking*. May.
- Malik, A. y Amin, H. (2017). *Designing EEG Experiments for Studying the Brain: Design Code and Example Datasets*. Academic Press.
- Manterola, C., Quiroz, G., Salazar, P. y García, N. (2019). Metodología de los tipos y diseños de estudio más frecuentemente utilizados en investigación clínica. *Revista Médica Clínica Las Condes*, 30(1), 36–49.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rmcl.2018.11.005>
- Martínez, C. (1993). *Esbozo biográfico y bibliografía de Jorge Alberto Sabato*. ADEST.
- Masson, S., Potvin, P. y Riopel, M. (2012). Using fMRI to study conceptual change : Why and how ? *International journal of environmental and science education*, 7(January), 19–35.
- Mayer, R. E. (1983). *Pensamiento. resolución de problemas y cognición*. Paidós Ibérica.
- McComas, W. F. (2014). Scientific thinking skills. *The Language of Science Education*, 25(2003), 96–96. https://doi.org/10.1007/978-94-6209-497-0_86
- MEN. (2008). *Ser competente en tecnología: ¡una necesidad para el desarrollo!* *Orientaciones generales para la educación en tecnología (MEN)*. Ministra de educación Nacional. https://www.mineducacion.gov.co/1621/articles-340033_archivo_pdf_Orientaciones_grales_educacion_tecnologia.pdf
- Merchán, C. (2018). *Orientaciones para el uso de estrategias didácticas en el desarrollo del pensamiento tecnológico*. (1a ed.). Universidad Pedagógica y Tecnológica de

Colombia (UPTC).

- Migueles, M., Tenorio, M., Felisberti, F., Palmero, F., Fuentes, I., Sebastián, M., Gallegos, M., Fernández, C., Piqueras, J., García, A., Breva, A., Aparici, M., Godoy, J. y Bertolotti, V. (2016). *Manual de introducción a la psicología cognitiva* (A. Vásquez (Ed.)). Unidad de Comunicación de la Universidad de la República.
- Miller, E. K., y Cohen, J. D. (2001). An integrative theory of prefrontal cortex function. *Annual Review of Neuroscience*, 24, 167–202.
<https://doi.org/10.1146/annurev.neuro.24.1.167>
- Mills, C., Fridman, I., Soussou, W., Waghray, D., Olney, A. M. y D’Mello, S. K. (2017). Put your thinking cap on: Detecting cognitive load using EEG during learning. *ACM International Conference Proceeding Series*, 80–89.
<https://doi.org/10.1145/3027385.3027431>
- Molina del Río, J., Guevara, M., Hernández, M., Hidalgo, R. y Cruz, M. (2019). EEG correlation during the solving of simple and complex logical–mathematical problems. *Cognitive, Affective and Behavioral Neuroscience*, 19(4), 1036–1046.
<https://doi.org/10.3758/s13415-019-00703-5>
- Morrison, R. y Knowlton, B. (2012). Neurocognitive methods in higher cognition. En *The Oxford Handbook of Thinking and Reasoning* (pp. 61–89). Oxford.
- Mumford, L. (1994). *Técnica y civilización*. Alianza Editorial.
- Muñoz, E. J. (2014). *Clasificación de patrones de imaginación motora en una interfaz cerebro computador de bajo costo usando software libre* [Universidad de Pereira].
<http://repositorio.utp.edu.co/dspace/handle/11059/4635>

- Naciones Unidas. (2018). *La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe* (LC/G.2681-P/Rev.3). Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).
- Niiniluoto, I. (2013). Ciencia frente a tecnología: ¿diferencia o identidad? *Arbor*, 157, 285–299. <https://doi.org/10.3989/arbor.1997.i620.1818>
- Nuwer, M. (1997). Assessment of digital EEG, quantitative EEG, and EEG brain mapping. *Special Article-Neurology*, 49, 277–292.
- O'Donohue, W., Kitchener, R. y Gorman, M. (2014). Psychology of science. En *The Philosophy of Psychology*. <https://doi.org/10.4135/9781446279168.n4>
- OCDE. (1995). *The Measurement of Scientific and Technological Activities Manual on the Measurement of Human Resources Devoted To S&T: Canberra Manual* (Número 95). OECD.
- Ochipa, C., Rothi, L. y Heilman, K. (1989). Ideational apraxia: A deficit in tool selection and use. *Annals of Neurology*, 25, 190–193.
- Ochipa, C., Rothi, L. y Heilman, K. (1992). Conceptual apraxia in Alzheimer's disease. *Brain*, 115, 1061–1107.
- Orovas, C., Sapounidis, T., Volioti, C., & Keramopoulos, E. (2025). EEG in education: A scoping review of hardware, software, and methodological aspects. *Sensors*, 25(1), 182. <https://doi.org/10.3390/s25010182>
- Osiurak, F. y Badets, A. (2016). Tool use and affordance: manipulation-based versus reasoning-based approaches. *Psychol. Rev.*, 123, 534–568. <https://doi.org/10.1037/rev0000027>

- Osiurak, F., Jarry, C., Allain, P., Aubin, G., Etcharry-Bouyx, F. y Richard, I. (2009). Unusual use of objects after unilateral brain damage: the technical reasoning model. *Cortex*, 45, 769–783. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2008.06.013>
- Osiurak, F., Jarry, C. y Le Gall, D. (2010). Grasping the affordances, understanding the reasoning: toward a dialectical theory of human tool use. *Psychol. Rev.*, 117, 517–540. <https://doi.org/10.1037/a0019004>
- Osiurak, F., Lesourd, M., Navarro, J. y Reynaud, E. (2020). Technition: when tools come out of the closet. *Perspectives on psychological science : a journal of the Association for Psychological Science*, 15(4), 880–897. <https://doi.org/10.1177/1745691620902145>
- Papuc, D., Bălan, O., Dascălu, M. I., Moldoveanu, A. y Morar, A. (2017). Brain activation and cognitive load during EEG measured creativity tasks accompanied by relaxation music. *CHIRA 2017 - Proceedings of the International Conference on Computer-Human Interaction Research and Applications, Chira*, 156–162. <https://doi.org/10.5220/0006511201560162>
- Paris, J., Ricardo, A. y Rymond, D. (2019). *Desarrollo y crecimiento en la niñez* (A. Johnson (Ed.)). College of the Canyons. <https://espanol.libretexts.org/@go/page/49970>
- Park, S., Song, K. y Kim, S. (2015). EEG analysis for computational thinking based education effect on the learners ' cognitive load. *Proceedings of the Applied Computer and Applied Computational Science (ACACOS'15)*, 38–43.
- Pascual-Marqui, R. D. (1999). Review of Methods for Solving the EEG Inverse Problem.

International Journal of Bioelectromagnetism, 1(1), 75–86.

<https://doi.org/10.1186/1743-0003-5-25>

Pascual-Marqui, R. D. (2002). Standardized low-resolution brain electromagnetic tomography (sLORETA): technical details. *Methods and findings in experimental and clinical pharmacology*, 24 Suppl D, 5–12.

Pascual-Marqui, R. D. (2007a). *LORETA: low resolution brain electromagnetic tomography*. The KEY Institute for Brain-Mind Research.

Pascual-Marqui, R. D. (2007b). Discrete, 3D distributed, linear imaging methods of electric neuronal activity. Part 1: Exact, zero error localization. *Math. Physics Biol. Physics Neurons Cogn.*, 0710.

Pascual-Marqui, R. D., Michel, C. M. y Lehmann, D. (1994). Low resolution electromagnetic tomography: a new method for localizing electrical activity in the brain. *International Journal of Psychophysiology*, 18(1), 49–65.

[https://doi.org/10.1016/0167-8760\(84\)90014-X](https://doi.org/10.1016/0167-8760(84)90014-X)

Pascual Marqui, R. D., Pascual-Montano, A. y Lehmann, D. (2006). Exact low resolution brain electromagnetic tomography (eLORETA). *Neuroimage*, 31.

Pearson, J., Naselaris, T., Holmes, E. A., y Kosslyn, S. M. (2015). Mental imagery: Functional mechanisms and clinical applications. *Trends in Cognitive Sciences*, 19(10), 590–602. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2015.08.003>

Perrone-Bertolotti, M., Rapin, L., Lachaux, J. P., Baciú, M., y Lœvenbruck, H. (2014). What is that little voice inside my head? Inner speech phenomenology, its role in cognitive performance, and its relation to self-monitoring. *Behavioural brain*

research, 261, 220–239. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2013.12.034>

Poincaré, H. (1905). *Ciencia e hipótesis*. The Walter Scott Publishing Company.

Quantitative EEG (qEEG) | Psychology Glossary | alleydog.com. (s/f). Recuperado el 4 de mayo de 2022, de <https://alleydog.com/glossary/cite-my-term.php?term=Quantitative+EEG+%28qEEG%29>

Postman, N. (1992). *Technopoly: The surrender of culture to technology*. Knopf

Quintanilla, M. A. (1998). Técnica y cultura. *Teorema: Revista internacional de filosofía*, 17, 49–69.

Quintanilla, M. A. (2005). *Tecnología : un enfoque filosófico y otros ensayos de filosofía de la tecnología*. Fondo de Cultura Económica.

Ramos-Argüelles, F., Morales, G., Egozcue, S., Pabón, R. M., & Alonso, M. T. (2009). Técnicas básicas de electroencefalografía: principios y aplicaciones clínicas. *Anales del Sistema Sanitario de Navarra*, 32(Supl. 3), 69–82.

http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1137-66272009000600006&lng=es&tlng=es

Rodríguez, G. (1998). Ciencia , Tecnología y Sociedad : una mirada desde la Educación en Tecnología. *Revista Iberoamericana de Educación*, 18.

<https://rieoei.org/historico/oeivirt/rie18a05.htm>

Rodríguez, M. y Mendivelso, F. (2018). Diseño de investigación de corte transversal.

Revista Médica Sanitas, 21, 141–146. <https://doi.org/10.26852/01234250.20>

Romo-Saltos, L. (1984). *Ciencia: Filosofía y Método*. Editorial Universitaria UCE.

Rosser, R. (1999). Scientific Thinking. En R. W. & F. Kei (Ed.), *The MIT Encyclopedia*

of Cognitive Science (pp. 730–733). Cambridge MA: MIT Press.

Sabato, J. A. y Mackenzie, M. (1982). *La producción de tecnología : autónoma o transnacional*. Nueva Imagen.

Salkind, N. j. (1999). *Métodos de investigación* (3ra ed.). Prentice hall.

Seung-Kwon, N. (2010). *The Development of the Technological Thinking Disposition Measurement Instrument*. Chungnam National.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374534-7.00004-6>

Sherlin, L. H. (2009). Diagnosing and treating brain function through the use of low resolution brain electromagnetic tomography (LORETA). *Introduction to Quantitative EEG and Neurofeedback*, 83–102. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374534-7.00004-6>

Spat, J., Bak, T., Bozeat, S., Patterson, K., & Hodges, J. R. (2002). Apraxia, mechanical problem solving and semantic knowledge: Contributions to object usage in corticobasal degeneration. *Journal of Neurology*, 249, 601–608. <https://doi.org/10.1007/s004150200094>

Simon, H. A. (1966). Scientific discovery and the psychology of problem solving. *Mind and cosmos*, 22–40.

Simon, H. A. (1977). *Models of discovery*.

Simpson, L. C. (1995). *Technology, time, and the conversations of modernity*. Routledge. <https://www.routledge.com/Technology-Time-and-the-Conversations-of-Modernity/Simpson/p/book/9780415907729>

Skekun. (1981). *Technical Thinking And Ways of Developing it* (Vol. 23, Números 2–3,

- pp. 149–191). Soviet Education. <https://doi.org/10.2753/RES1060-9393230203149>
- Sternberg, R. J. (1997). *Thinking Styles*. Cambridge University Press.
- Stevens, C. E. y Zabelina, D. L. (2019). Creativity comes in waves: an EEG-focused exploration of the creative brain. *Current Opinion in Behavioral Sciences*, 27, 154–162. <https://doi.org/10.1016/j.cobeha.2019.02.003>
- Strimel, G. (2014). Engineering design: a cognitive process approach [Old Dominion University]. En *STEMPS Theses & Dissertations*. <https://doi.org/10.25777/zzbj-b616>
- Tadel, F., Baillet, S., Mosher, J. C., Pantazis, D., y Leahy, R. M. (2011). Brainstorm: A user-friendly application for MEG/EEG analysis. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2011, Article ID 879716. <https://doi.org/10.1155/2011/879716>
- Tadel, F., Bock, E., Niso, G., Mosher, J. C., Cousineau, M., Pantazis, D., Leahy, R. M., & Baillet, S. (2019). MEG/EEG group analysis with Brainstorm. *Frontiers in Neuroscience*, 13, 76. <https://doi.org/10.3389/fnins.2019.00076>
- Tadel, F., Bock, E., Mosher, J. C., Leahy, R., & Baillet, S. (s.f.). *Head model*. Brainstorm. Recuperado el 8 de agosto de 2024, de <https://neuroimage.usc.edu/brainstorm/Tutorials/HeadModel>
- Talairach, J. y Tournoux, P. (1988). *Co-planar stereotaxic atlas of the human brain: 3-dimensional proportional system : an approach to cerebral imaging*. G. Thieme.
- UNESCO. (2022). *Reimaginar juntos nuestros futuros: un nuevo contrato social para la educación*. UNESCO.
- Thomas, M. S. C., Ansari, D., y Knowland, V. C. P. (2019). *Annual Research Review*:

Educational neuroscience: progress and prospects. Journal of Child Psychology and Psychiatry, 60(4), 477–492. <https://doi.org/10.1111/jcpp.12973>

Torrijos-Muelas, M., González-Villora, S., y Bodoque-Osma, A. R. (2021). La persistencia de los neuromitos en los entornos educativos: una revisión sistemática. *Frontiers in Psychology*, 11, 591923. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.591923>

Vann, S., Aggleton, J., y Maguire, E. (2009). What does the retrosplenial cortex do? *Nature Reviews Neuroscience*, 10(11), 792–802. <https://doi.org/10.1038/nrn2733no>

Vaesen, K. (2012). The cognitive bases of human tool use. *Behavioral and Brain Sciences*, 35(4), 203–218. <https://doi.org/10.1017/S0140525X11001452>

Vasquez-Echeverria, A. (2016). *Manual de introducción a la psicología cognitiva*. UCUR. Departamento de Publicaciones.

Villegas, B. M. y Rojas, M. G. (2018). Interfaz cerebro ordenador BCI mediante el uso de Emotiv Insight. *RevActaNova*, 9(1), 3–31.
http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1683-07892019000100002&nrm=iso

Vincenti, W. G. (1990). *What engineers know and how they know it*. The John Hopkins University Press.

Wicklein, R. C. y Rojewski, J. W. (1999). Toward a “Unified Curriculum Framework” for Technology Education. *Journal of Industrial Teacher Education*, 36(4).

Wilkening, F. y Sodian, B. (2005). Scientific reasoning in young children: introduction. *Swiss Journal of Psychology*, 64, 137–139.

- Wu, J. (2005). *Piensa ahora con Da Vinci* (R. Bangseung, Trad., 2006). Aracne.
- Xie, W., & Richards, J. E. (2022). Cortical source localization in EEG frequency analysis. In P. A. Gable, M. W. Miller, & E. M. Bernat (Eds.), *The Oxford handbook of EEG frequency* (Oxford Library of Psychology). Oxford Academic.
<https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780192898340.013.16>
- Yao, B., Belin, P., y Scheepers, C. (2011). Silent reading of direct versus indirect speech activates voice-selective areas in the auditory cortex. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 23(11), 3146-3152. https://doi.org/10.1162/jocn_a_00022
- Zhou, Z., Hu, L., Sun, C., Li, M., Guo, F. y Zhao, Q. (2019). The effect of Zhongyong thinking on remote association thinking: An EEG study. *Frontiers in Psychology*, 10(FEB), 1–9. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.00207>
- Zimmerman, C. (2007). The development of scientific thinking skills in elementary and middle school. *Developmental Review*, 27(2), 172–223.
<https://doi.org/10.1016/j.dr.2006.12.001>
- Zimmerman, C. y Croker, S. (2014). A prospective cognition analysis of scientific thinking and the implications for teaching and learning science. *Journal of Cognitive Education and Psychology*, 13(2), 245–257. <https://doi.org/10.1891/1945-8959.13.2.245>