



El pensamiento tecnológico y sus procesos cognitivos: una revisión del estado del arte

- Technological Thinking and its Cognitive Processes: a Review of the State of the Art
- O pensamento tecnológico e seus processos cognitivos: uma revisão do estado da arte

Forma de citar este artículo:

Torres-Sánchez, J. y Zapata-Castañeda, P. (2025). El pensamiento tecnológico y sus procesos cognitivos: una revisión del estado del arte. *Tecné, Episteme y Didaxis: TED*, (57), 101 - 120. <https://doi.org/10.17227/ted.num57-19661>

Resumen

El presente artículo tiene como objetivo establecer un marco de referencia para la caracterización de los procesos cognitivos que subyacen al pensamiento tecnológico (PT), mediante una revisión de diversas fuentes documentales orientadas al estudio de los procesos cognitivos y a la enseñanza de la tecnología. El propósito de esta revisión fue caracterizar los procesos cognitivos que intervienen cuando se piensa tecnológicamente. En este sentido, se recopiló, seleccionó y organizó diferentes fuentes documentales relacionadas con el PT y los procesos cognitivos implicados en este tipo de pensamiento. Adicionalmente, se contrastaron los diversos postulados teóricos de diferentes autores frente al tema y, finalmente, se planteó una interpretación propia de los procesos cognitivos que estructuran el PT. Los resultados de la revisión se presentan en tres apartados: procesos cognitivos asociados al pensamiento tecnológico, procesos cognitivos asociados a la solución de problemas (SP) tecnológicos y procesos cognitivos relacionados con el uso de herramientas tecnológicas. Entre los hallazgos más importantes se destaca la ubicación de los procesos de razonamiento tecnológico en el área frontoparietal dentro del lóbulo parietal inferior izquierdo y la existencia de procesos cognitivos exclusivos de la especie humana dentro del contexto tecnológico. Como conclusión, en este texto se finaliza reconociendo nueve procesos cognitivos que subyacen al PT.

Palabras clave

pensamiento; tecnología; proceso cognitivo; solución de problemas

Julián Darío Torres-Sánchez*  
Pedro Nel Zapata-Castañeda**  

* Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá, Colombia. jdtorress@upn.edu.co

** Profesor, Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá, Colombia. pzapata@pedagogica.edu.co

Artículo de investigación

Fecha de recepción: 21/06/2023
Fecha de aprobación: 07/05/2024
Fecha de publicación: 01/01/2025



Abstract

This article aims to establish a reference framework for characterizing the cognitive processes underlying technological thinking (π), through a review of various documentary sources oriented towards the study of cognitive processes and the teaching of technology. This review aimed to characterize the cognitive processes involved in thinking technologically. In this regard, different documentary sources related to π and the cognitive processes involved in this type of thinking were collected, selected, and organized. Additionally, the theoretical postulates of different authors on the topic are contrasted, and a personal interpretation of the cognitive processes structuring π is proposed. The results of the review are presented in three sections: cognitive processes associated with technological thinking, cognitive processes associated with technical problem-solving, and cognitive processes related to the use of technological tools. Among the most important findings, the location of technological reasoning processes in the frontoparietal area within the left inferior parietal lobe is highlighted, as well as the existence of species-specific cognitive processes within the technological context. In conclusion, this text concludes by recognizing nine cognitive processes underlying π .

Keywords

thinking; technology; cognitive process; problem solving

Resumo

Este artigo tem como objetivo estabelecer um quadro de referência para identificar os processos cognitivos subjacentes ao pensamento tecnológico (PT), por meio de uma revisão de diversas fontes documentais voltadas para o estudo dos processos cognitivos e o ensino de tecnologia. Essa revisão teve como objetivo caracterizar os processos cognitivos envolvidos no pensamento tecnológico. Nesse sentido, foram coletadas, selecionadas e organizadas diferentes fontes documentais relacionadas ao PT e aos processos cognitivos envolvidos nesse tipo de pensamento. Além disso, são contrastados os diversos postulados teóricos de diferentes autores sobre o tema e, por fim, é apresentada uma interpretação própria dos processos cognitivos que estruturam o PT. Os resultados da revisão são apresentados em três seções: processos cognitivos associados ao pensamento tecnológico, processos cognitivos associados à solução de problemas técnicos e processos cognitivos relacionados ao uso de ferramentas tecnológicas. Entre as descobertas mais importantes, destaca-se a localização dos processos de raciocínio tecnológico na área frontoparietal dentro do lobo parietal inferior esquerdo e a existência de processos cognitivos exclusivos da espécie humana dentro do contexto tecnológico. Em conclusão, neste texto, reconhecem-se nove processos cognitivos subjacentes ao PT.

Palavras-chave

pensamento; tecnologia; processo cognitivo; resolução de problemas

Introducción

Pensar puede considerarse una actividad mental intencional (en diferentes niveles) inherente a la existencia humana, que se basa en la inteligencia (procesos y componentes) y la experiencia, y surge como respuesta para actuar en una situación dada (Vega, 1990; Edelman, 1992; Sternberg, 1997; Hund, 1997; Seung-Kwon, 2010; Holyoak y Morrison, 2012; Aguirre y Moreira, 2015). Desde este marco de referencia, el pensamiento tecnológico puede definirse como “una forma específica de operar cognitivamente” (Arenas *et al.*, 2005, p. 132), donde intervienen un sujeto y un objeto con el fin de proyectar ideas de orden técnico. Por su parte, Merchán (2018) señala que el PT es una actividad mental “de orden epistemológico (estructural), psicológico (funcional) y dinámico (histórico y contextual)” (p. 15).

En el contexto anterior, pensar tecnológicamente (PT) toma cada vez más relevancia en un mundo donde tanto la ciencia como la tecnología son responsables de numerosas transformaciones en diversos espacios de la sociedad. A la ciencia y la tecnología se les atribuyen efectos importantes sobre la sociedad contemporánea, específicamente en campos como la producción industrial, las ciencias de la información y la biotecnología, entre muchos otros. Es de resaltar que, en la actualidad, la tecnología y la ciencia se consideran determinantes en el desarrollo económico de los países y en la calidad de vida de las personas (Martín y Osorio, 2003).

Es así que, desde las actividades tecnológicas, se deben afrontar retos como la sostenibilidad alimentaria, el mayor acceso al agua, la eficiencia energética, 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 el suministro de empleos a una población mundial creciente, entre otros no menos importantes.

En este mismo sentido, la escuela está llamada a proveer la formación necesaria para atender dichos retos desde los currículos, planes de estudio y actividades de aula. Esta responsabilidad suscita diversos cuestionamientos, por ejemplo: ¿Qué tipo de actividades propician el PT en el aula? ¿Qué tipo de procesos cognitivos subyacen al PT? Algunos de estos cuestionamientos han sido motivo de investigación para profesionales en el campo de la educación en tecnología; sin embargo, frente a los procesos cognitivos que subyacen al pensamiento tecnológico no se cuenta con la misma claridad. En contraste, con referencia a lo que ocurre con el denominado “pensamiento científico”, autores como Fugelsang y Dunbar (2005), Dunbar y Klahr (2012) y Zimmerman y Croker (2014), entre otros, han realizado diversos aportes.

Por otro lado, Seung-Kwon (2010) señala la necesidad de investigar en el campo del pensamiento tecnológico y, específicamente, en torno a sus características fundamentales, principalmente por el hecho de que la población a nivel global está ingresando a una era donde la tecnología se encuentra omnipresente (Unesco, 2022) en múltiples actividades humanas. Así, el contexto educativo está llamado a responder a aspectos como la cuarta revolución industrial, liderada por las TIC, el internet de las cosas, el *big data*, los vehículos autónomos, la nanotecnología y la inteligencia artificial, entre otros.

En consecuencia, el entendimiento de los procesos cognitivos necesarios para resolver problemas tecnológicos en la sociedad actual es fundamental a la hora de diseñar currículos y planes de estudio eficaces que favorezcan el aprendizaje, tanto de los contenidos disciplinares

como de los procesos cognitivos, teniendo en cuenta que el conocimiento tecnológico es de corta duración y cambia constantemente, mientras que los procesos cognitivos permanecen relativamente estables en el tiempo. En otras palabras, independientemente de los cambios en el tipo de tecnología o de herramientas, las metas curriculares esenciales siguen siendo consistentes (Wicklein y Rowjewski, 1999).

Perspectiva metodológica

La indagación propuesta se realizó tanto en literatura nacional como internacional (en inglés, coreano y español), así como en bases de datos (ResearchGate, Educational Source, SciELO, Springer, Scopus), revistas especializadas, tesis, *handbooks*, *papers* y libros, los cuales cuentan con una versión digital para su revisión. Entre estas fuentes se destacan: *Journal of Industrial Teacher Education*, *Journal of Technology Studies*, *Research in Science & 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* y *EEG Biofeedback*.

La revisión se llevó a cabo mediante la búsqueda de palabras clave, títulos y resúmenes, utilizando además operadores booleanos como AND y OR, con el fin de obtener resultados relacionados con los temas de la revisión. La indagación inicialmente se realizó en dos idiomas (español e inglés) y posteriormente en un tercer idioma (coreano), a partir de los resultados obtenidos en una primera búsqueda. En cuanto a los criterios de búsqueda, se plantearon tres, que surgieron del proceso de revisión de antecedentes respecto a los elementos que caracterizan al PT:

- Investigaciones cuyo objeto de estudios son los procesos cognitivos que subyacen al PT.
- Investigaciones cuyo objeto de estudio es el PT y su desarrollo.
- Investigaciones en la línea de cognición cuyo objeto de estudio es la solución de problemas tecnológicos.

En el marco de estos criterios, se llevó a cabo la indagación en español utilizando las expresiones “procesos cognitivos del pensamiento tecnológico” y “procesos cognitivos en solución de problemas tecnológicos”. De igual manera, se realizó una búsqueda específica en inglés con expresiones como “cognitive processes of technological thinking” y “cognitive processes in solution of technological problems”. En cuanto al idioma coreano, se utilizó la expresión “기술적 사고”.

Posteriormente, se filtraron los resultados según los tres criterios; sin embargo, el material encontrado al respecto fue escaso. A la fecha, en el contexto de estos criterios se hallaron diecinueve (19) artículos de investigación: doce (12) para el tercer criterio, cinco (5) para el segundo y dos (2) para el primero. De estos diecinueve (19) artículos, tres (3) se encuentran en español, tres (3) en coreano y los demás en inglés. Estos documentos seleccionados fueron leídos, interpretados, desglosados y organizados en una matriz en torno a la siguiente información: autor-autores, año de publicación, referencias, título del artículo, resumen, origen, idioma, criterio de selección y aspectos relevantes respecto a los procesos cognitivos. De igual manera, se llevó a cabo un análisis comparativo en torno a los postulados teóricos frente a los procesos cognitivos subyacentes al PT y a los empleados en la solución de problemas tecnológicos.

Es importante resaltar que la ausencia de un mayor número de estudios relacionados puede atribuirse a la limitada atención prestada por parte de las ciencias cognitivas a los procesos que subyacen al pensamiento tecnológico. Así lo plantea Stout (2021), quien resalta el significativo interés tanto de los filósofos como de los científicos sociales por pensar profundamente sobre la naturaleza y la importancia de la tecnología, interés que, en contraste con las ciencias psicológicas y evolutivas, ha sido limitado.

Resultados de la revisión

Los resultados se presentan en tres apartados: procesos cognitivos asociados al pensamiento tecnológico, procesos cognitivos asociados a la solución de problemas tecnológicos y procesos cognitivos relacionados con el uso de herramientas tecnológicas.

Es importante aclarar que en esta revisión se asume la postura propuesta por Simpson (1995), quien considera que la técnica podría considerarse como tecnología antigua y, en consecuencia, los desarrollos actuales en el campo se consideran tecnología moderna. Con base en lo anterior, en adelante solo se utilizará el término *tecnología*.

Procesos cognitivos asociados al pensamiento tecnológico

Frente a los procesos cognitivos que pueden asociarse al PT, Seung-Kwon (2010) desarrolla un instrumento para medir la propensión al pensamiento tecnológico a partir del estudio de los procesos cognitivos que intervienen en dicho pensamiento. Como resultado de dicho estudio, Seung-Kwon (2010) estableció 156 procesos enmarcados en una síntesis de elementos del pensamiento y propensión a pensar. Posteriormente, tras una serie de análisis factoriales Delphi con 25 participantes, estos procesos se redujeron a 38. Como resultado del análisis factorial, Seung-Kwon (2010) determinó los factores que componen la propensión al pensamiento tecnológico (tabla 1).

Tabla 1. Factores que componen la propensión al pensamiento tecnológico Seung-Kwon (2010) y ejemplo de preguntas asociadas

Factor	Ejemplo de pregunta asociada
Propensión al análisis técnico (6)	<ul style="list-style-type: none"> • Cuando me encuentre con un producto nuevo, tengo muchas preguntas sobre cómo se fabricó.
Propensión a la curiosidad tecnológica (4)	<ul style="list-style-type: none"> • Intento conocer el principio de funcionamiento de productos como computadoras y automóviles.
Creatividad tecnológica y propensión a la expresión (8)	<ul style="list-style-type: none"> • Cuando arreglo las cosas, trato de resolverlas con nuevas ideas en lugar de la forma habitual.
Predisposición de manipulación tecnológica(7)	<ul style="list-style-type: none"> • Cuando se me ocurre una idea para un producto, tiendo a dibujarla o hacerla de inmediato.
Predisposición de identificación de problemas técnicos y solución (7)	<ul style="list-style-type: none"> • Sé manipular o hacer cosas.
Predisposición de reflexión y planificación tecnológica (6)	<ul style="list-style-type: none"> • Tiendo a pensar en el proceso de antemano antes de hacer las cosas.

Fuente: traducción de Seung Kwon (2010, pp. 128-129).

En esta misma línea, Cárdenas (2013), en el marco de su conceptualización acerca del PT, valida nueve atributos aplicando el método conocido como ábaco de Régnier (metodología de consulta a expertos sobre actitudes frente a un determinado tema). En su estudio, Cárdenas (2013) señala que el pensamiento tecnológico está conformado por un conjunto de raciocinio que los seres humanos realizan con los materiales, los objetos y los hechos de la naturaleza para modificar su estado, innovarlos o crearlos. Dichos atributos son: análisis y síntesis, analogía y contraste, causa-efecto, sistema mental, ponderación, mentalidad proyectual, racionalidad tecnológica e incorporación de conocimiento. Además de validar estos nueve atributos que componen el PT, Cárdenas (2013) propone 21 indicadores que permiten validar la presencia o ausencia de cada atributo.

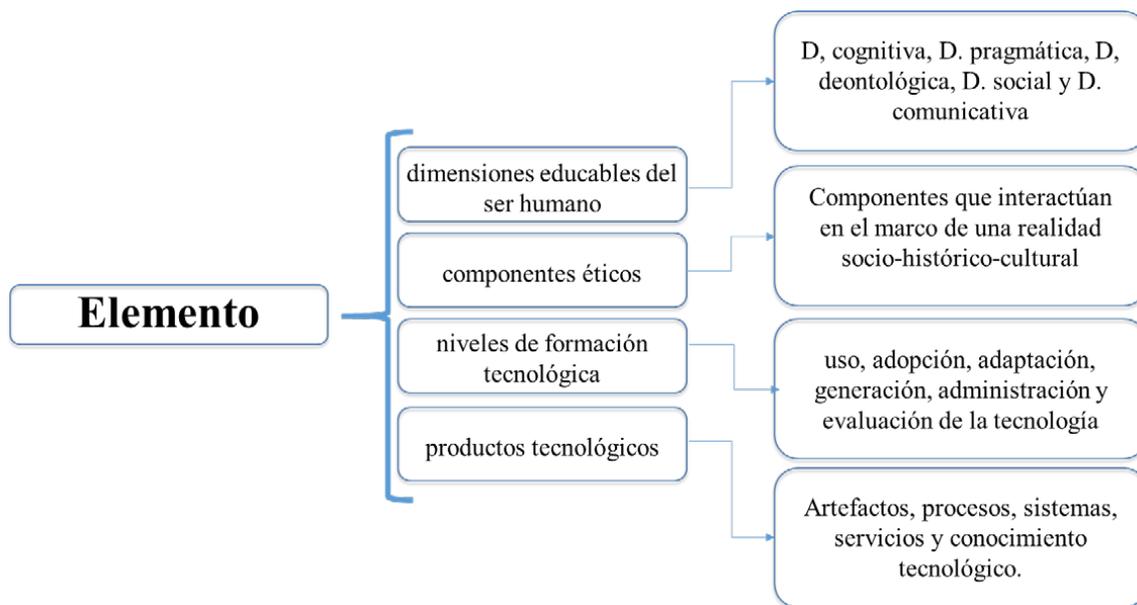
En resumen, de los seis factores propuestos por Seung-Kwon (2010), se reconocen nueve procesos cognitivos presentes tanto en el PT como en su predisposición. Estos son: análisis técnico, curiosidad técnica, creatividad técnica, expresión, manipulación técnica, identificación de problemas técnicos, solución técnica, reflexión técnica y planificación técnica.

Por otro lado, en el esbozo que Merchán (2018) realiza sobre los componentes del PT, en el componente relacionado con las acciones tecnológicas que median entre la construcción de conocimiento tecnológico y la materialización de los productos tecnológicos, se identifican diez procesos cognitivos: analizar, problematizar, conceptualizar, planear, investigar, experimentar, diseñar, fabricar, resolver problemas y evaluar. Es de resaltar que estos procesos cognitivos se componen de otros procesos; por ejemplo, referirse a un proceso de evaluación implica procesos de metacognición. De manera similar, planear conlleva procesos como la anticipación, simulación y visualización mental.

De los aportes más importantes que hace Merchán (2018) respecto a los procesos cognitivos asociados al pensamiento tecnológico, se destacan los elementos que condicionan cada

uno de ellos (descritos en la figura 1). Los niveles de formación tecnológica son un elemento definitivo en la manifestación o no de uno o varios de los diez procesos cognitivos identificados.

Figura 1. Elementos que condicionan los procesos cognitivos asociados al PT



Fuente: elaboración propia.

En torno a los postulados de Merchán (2018), Cárdenas (2013) y Seung-Kwon (2010), se identificó que el único proceso cognitivo común a los tres autores es el análisis. Merchán (2018) y Seung-Kwon (2010) coinciden en procesos cognitivos tales como: analizar, problematizar, planear, investigar y manipulación técnica (diseñar y fabricar). Por su parte, Merchán (2018) y Cárdenas (2013) resaltan la influencia de un componente ético en los procesos cognitivos asociados al PT. Por otro lado, Seung-Kwon (2010) plantea la existencia de una predisposición al PT que puede estar condicionada por el fortalecimiento previo de procesos cognitivos en el contexto formal de la educación en tecnología.

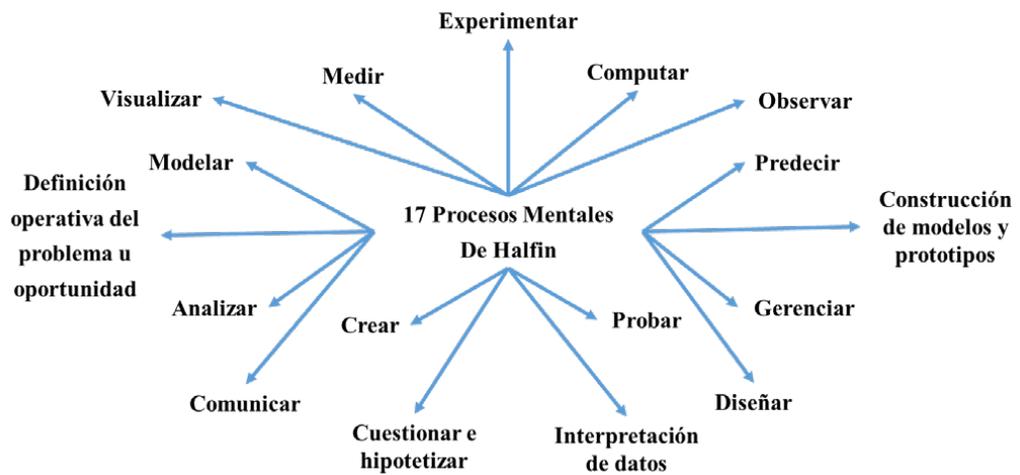
Procesos cognitivos asociados a la solución de problemas tecnológicos

A diferencia del apartado anterior, en el caso de la solución de problemas tecnológicos, los estudios hallados son más específicos y se enfocan en uno de los atributos más relevantes en el estudio del PT: la solución de problemas tecnológicos. Si bien la habilidad de solucionar problemas es inherente a la naturaleza humana y no es exclusiva del PT, la solución de problemas de orden tecnológico involucra un mayor protagonismo de ciertos procesos cognitivos en comparación con otros tipos de problemas. Al respecto, Custer (1995) distinguió la solución de problemas tecnológicos de

otras formas de solución de problemas, señalando las características distintivas con respecto a los recursos, los procesos primarios y el objetivo. Proporcionó, además, una razón clara para incluir la habilidad de solución de problemas como un componente esencial en la educación en tecnología.

En el contexto anterior, la mayor parte de los estudios revisados se desarrollaron en el marco de la solución de problemas tecnológicos. El trabajo de Halfin (1973) es uno de los más relevantes, dada su contribución a los estudios posteriores en el campo (Hill, 1997; Hill y Wicklein, 1999; Kelley *et al.*, 2010; Strimel, 2014). Halfin (1973), con ayuda del método Delphi (técnica de predicción que obtiene y refina las apreciaciones de un grupo de expertos sobre un problema complejo), identificó 17 procesos cognitivos y métodos de indagación utilizados de forma reiterativa por tecnólogos en la resolución de problemas de orden tecnológico. Su estudio consistió en la revisión de los escritos de diez tecnólogos de alto nivel, entre 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 cognitivos identificados por Halfin (1973) se presentan en la figura 2.

Figura 2. *Procesos cognitivos identificados por Halfin*



Fuente: adaptado de Halfin (1973).

En estudios posteriores, Wicklein y Rojewski (1999) revalidaron y actualizaron el trabajo original de Halfin (1973). Mediante un estudio Delphi con 25 profesionales de diferentes ramas del conocimiento, como ingeniería, mecánica y diseño, confirmaron los 17 procesos cognitivos y los métodos de investigación analizados por Halfin (1973). Además, identificaron en su estudio 10 procesos cognitivos adicionales considerados necesarios para la resolución de problemas tecnológicos: contextos, investigación, búsqueda de soluciones, revisión de tecnología, transferencia-transformación, valores, análisis del cliente, innovación,

seguimiento de datos y establecimiento de la necesidad.

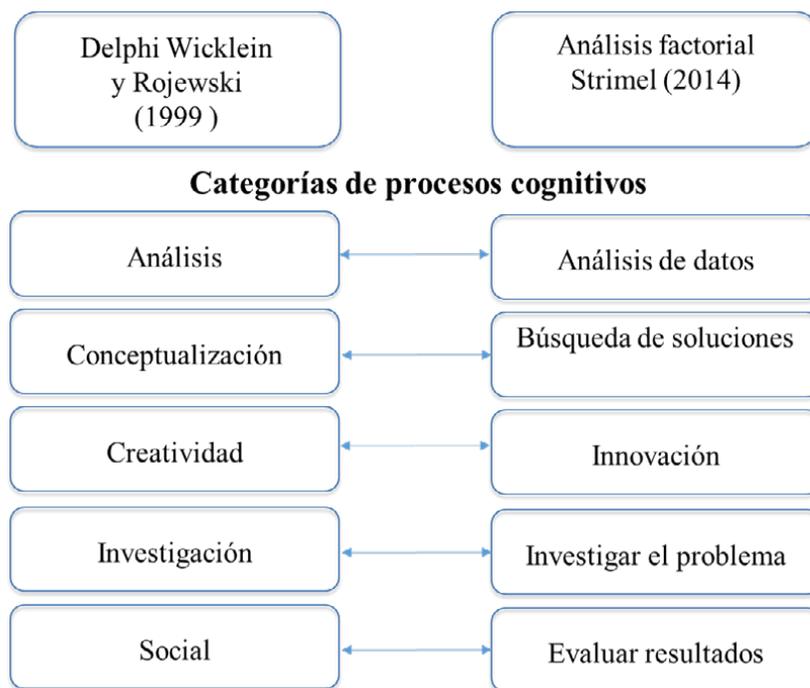
Por otro lado, Hill (1997), con base en el trabajo de Halfin (1973), desarrolló un instrumento basado en un programa de computadora cuyo propósito era registrar y analizar, mediante la codificación en dos letras, la duración y frecuencia del uso de los 17 procesos cognitivos por parte de los estudiantes. La técnica propuesta por Hill (1997) consistía en observar a los estudiantes mientras completaban actividades de resolución de problemas tecnológicos para determinar la duración y frecuencia de los diversos procesos empleados. Esta técnica se denominó Procedimiento de Observación para los Procesos Cognitivos de Educación Tecnológica (OPTEMP, por sus siglas en inglés).

Con el objetivo de establecer un conjunto de procesos cognitivos más conciso, que atienda la dificultad del uso práctico de los procesos

cognitivos propuestos por Halfin (1973) y Wicklein y Rojewski (1999), Strimel (2014), tras un análisis factorial, identificó sistemáticamente los temas o constructos clave representativos de los procesos cognitivos necesarios para la resolución de problemas tecnológicos y redujo la lista a cinco categorías.

Entre los hallazgos descritos en el trabajo de Strimel (2014), es de resaltar la similitud de sus resultados de clasificación con las cinco categorías que señalan Wicklein y Rojewski (1999) en su estudio Delphi sobre la identificación y priorización de los procesos cognitivos fundamentales utilizados por los tecnólogos para resolver problemas técnicos. En la figura 3 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 en ambas investigaciones, los conceptos siguen siendo muy similares (Strimel, 2014).

Figura 3. Categorías comparadas entre Wicklein y Rojewski (1999) y Strimel (2014)



Fuente: elaboración propia.

En general, los trabajos de Halfin (1973), Wicklein y Rojewski (1999), y Hill (1997) establecieron la base para estudios posteriores (Hill y Wicklein, 1999; Strimel, 2014) relacionados con los procesos cognitivos que subyacen a la solución de problemas de orden tecnológico y representan un punto de partida para la evaluación de currículos, planes de estudio y estrategias de enseñanza-aprendizaje en el campo de la educación en tecnología.

Procesos cognitivos asociados al uso de herramientas tecnológicas

En los apartados anteriores se revisaron trabajos relacionados con los procesos cognitivos asociados al ámbito tecnológico en dos contextos diferentes. El primero, de manera general, abarcó las dimensiones más relevantes del pensamiento tecnológico (PT); el segundo, en un marco más específico, se desarrolló en el contexto de la solución de problemas tecnológicos. Este tercer apartado se desarrolla en el campo de la neurocognición a partir de dos líneas de estudio: la primera dirigida al análisis correlacional entre daño cerebral y el uso y fabricación de herramientas, y la segunda orientada al análisis comparativo entre humanos y grandes primates en el uso y fabricación de herramientas.

Es de resaltar que ambas líneas de estudio han propiciado la teorización frente al razonamiento tecnológico (Osiurak *et al.*, 2009; Osiurak *et al.*, 2021), la cognición causal (McCormack *et al.*, 2012; Rodríguez y Maldonado, 2021), la acumulación tecnológica cultural, la introducción del concepto de *intoelligence* (Osiurak y Heinke, 2018) y la conformación de un nuevo campo de estudio en ciencias cognitivas, al cual Osiurak *et al.* (2020) denominan *tecnición*.

En primer lugar, es importante establecer por qué el uso de herramientas es tan determinante al hablar de PT. Desde una perspectiva antropológica, para el ser humano, todo el entorno natural representa un entorno hostil, dado que ningún hábitat le pertenece, en términos antropomórficos y biológicos (Chaquea y Chamorro, 2013). Así pues, “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” (González y Hernández, 2000, p. 14).

En consecuencia, 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. Su precariedad lo condena a ser *práxico*, a no poder vivir sin inventar “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). Por lo tanto, la fabricación y el uso de herramientas de todo nivel han permitido que el hombre domine cada vez más la naturaleza a favor de su conveniencia. Cabe entonces preguntarse: ¿cuáles son las bases cognitivas que subyacen al uso de herramientas?

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 formas de entendimiento.

En la tabla 2 se presentan algunos de los estudios más relevantes sobre el uso de herramientas y su relación con diversas situaciones de daño cerebral.

Tabla 2. Hallazgos sobre al uso de herramientas y daño cerebral (DC)

Autor(es) del estudio	Hallazgos
Heilman <i>et al.</i> (1997); Ochipa <i>et al.</i> (1989, 1992)	Los pacientes con daño cerebral (DC) son incapaces de usar objetos (UO) normalmente debido a la pérdida del conocimiento conceptual sobre la función del objeto.
Goldenberg y Hagmann (1998)	Existe una asociación entre las habilidades de razonamiento espacial y la capacidad para usar objetos en pacientes con daño cerebral en el lóbulo izquierdo.
Hodges <i>et al.</i> (1999) y posteriormente Spatt <i>et al.</i> (2002)	La degeneración corticobasal se manifiesta con el deterioro en el desarrollo de actividades relacionadas con el UO.
Hodges <i>et al.</i> (2000)	Correlación entre el grado de deterioro del conocimiento conceptual y la capacidad para demostrar el UO.
Bartolo <i>et al.</i> (2007)	El uso de objetos no solo depende de la capacidad de inferir la función estructural del objeto, sino también de otros procesos cognitivos como el conocimiento conceptual o el razonamiento causal.
Buxbaum y Saffran (2002); Buxbaum <i>et al.</i> (2003); Buxbaum <i>et al.</i> (2005a)	Los pacientes con dificultades para producir y reconocer pantomimas tienen un conocimiento reducido de la manipulación hábil de objetos.
Hartmann <i>et al.</i> (2005), previamente Buxbaum <i>et al.</i> (1997)	El conocimiento conceptual intacto no es garantía de utilización en acciones de uso de varios objetos.
Osiurak <i>et al.</i> (2009)	Los pacientes con daño cerebral en el hemisferio izquierdo tienen más dificultades en pruebas de uso inusual de objetos en comparación con los controles. Los hallazgos apoyan el modelo de razonamiento tecnológico.

Fuente: elaborado a partir de Osiurak *et al.* (2009).

En los hallazgos anteriores se evidencia la importancia de procesos cognitivos como el conocimiento conceptual, el razonamiento causal y el razonamiento tecnológico en el uso de objetos, tanto familiares como inusuales. También se resalta el área izquierda del cerebro como la región donde se llevan a cabo dichos procesos.

En cuanto al conocimiento conceptual, 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. Se adquiere a través de la

experiencia y la exposición a diferentes objetos y categorías a lo largo del tiempo.

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

En relación con el razonamiento tecnológico, Gagnepain (1990) y Gall (1998) señalan que el uso de los objetos está orientado por un razonamiento basado en dos principios

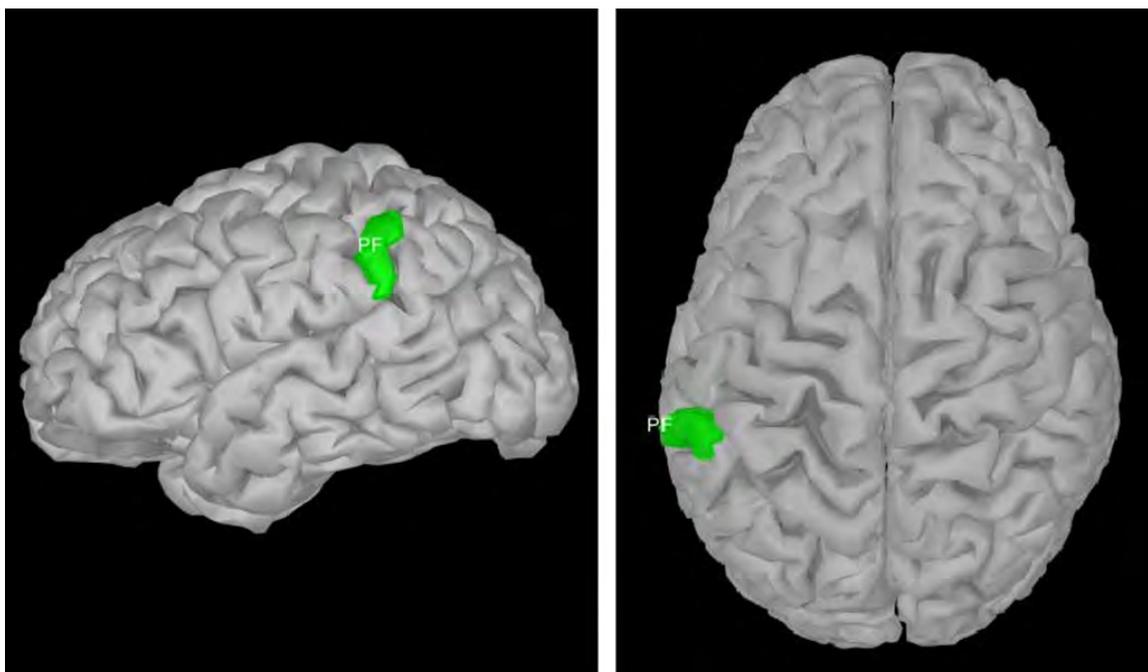
tecnológicos abstractos: el primero es la capacidad de reconocer o identificar medios tecnológicos en la materia física. Esta perspectiva se basa en el supuesto de que no hay superposición entre la realidad técnica y la realidad física (Osiurak *et al.*, 2009). El segundo principio es la capacidad de combinar medios tecnológicos, los cuales, por cierto, son principios abstractos adquiridos mediante la experiencia y que no están vinculados con ninguna representación específica del objeto (Osiurak *et al.*, 2009). Cabe destacar que la capacidad de combinar medios podría estar en el origen del progreso tecnológico (Osiurak *et al.*, 2009).

Con base en el modelo de razonamiento tecnológico desarrollado originalmente por Gagnepain (1990), Remigereau *et al.* (2016) sugieren que los procesos subyacentes del razonamiento tecnológico son parcialmente operativos a partir de los 6 años. Por su parte, Osiurak *et al.* (2020) postulan que la mente tecnológica se origina en habilidades neurocognitivas, habilidades que, además, tienen alta probabilidad de ser exclusivas de los humanos —aunque aún faltan estudios concluyentes con cuervos, pinzones, delfines, nutrias y elefantes— (Vaensen, 2012). En este mismo contexto, Osiurak *et al.* (2020) añaden que, en el razonamiento tecnológico, está involucrado el entendimiento de las relaciones existentes entre herramienta y objeto, lo cual permite a la especie humana reconocer y seleccionar las herramientas más relevantes para realizar las acciones mecánicas apropiadas según sea necesario, en el uso o elaboración de herramientas familiares y novedosas.

En cuanto al uso de herramientas (físicas, imaginadas, observadas o virtuales), Witt (2021) plantea que esta acción influye en procesos de percepción de distancia y velocidad (percepción espacial), así como en la atención visual y la identificación de objetos. Afirma, además, que la influencia de las herramientas en la percepción espacial se basa en una larga historia que ha demostrado que las herramientas están encarnadas e incorporadas al esquema corporal de quien las usa. Cabe agregar que los procesos psicológicos involucrados en el uso de herramientas se encuentran a nivel de percepción y acción; en particular, la tarea funcional demanda establecer y mantener una interfaz mecánica. En este sentido, el uso de herramientas depende de los procesos perceptomotores relacionados con la percepción de las relaciones espaciales entre objetos y superficies, el desarrollo de la gestión sobre los objetos adheridos al cuerpo (la distanciaci3n del objeto o efector final) y el control de los grados de libertad corporales para satisfacer las exigencias de las tareas funcionales (Mangalam *et al.*, 2022).

Por otro lado, la evidencia neuropsicol3gica ubica la base neural de este razonamiento en el l3bul3 parietal inferior izquierdo, particularmente en el 3rea frontoparietal (PF) (seg3n la parcelaci3n de Glasser *et al.*, 2016), y existe evidencia de que su grosor predice su rendimiento (Federico *et al.*, 2022).

Figura 4. Área PF de acuerdo a la parcelación de Glasser (2016)



Fuente: elaboración propia.

A modo de resumen de este apartado, se plantea la existencia de un razonamiento destinado a la manipulación, abstracción y transformación del mundo físico, denominado razonamiento tecnológico (Gagnepain, 1990; Gall, 1998). Este se define como una habilidad para solucionar problemas físicos sobre la base de principios abstractos adquiridos por medio de la experiencia (Osiurak *et al.*, 2020). Este razonamiento es de orden analógico y causal. Sus bases neurológicas pueden localizarse en el área PF dentro del lóbulo parietal inferior izquierdo (Osiurak *et al.*, 2020).

En cuanto a la segunda línea de estudio de este apartado, orientada al análisis comparativo entre humanos y primates no humanos, Vaesen (2012) realiza una comparación sistemática entre ambos grupos en torno 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, Vaesen (2012) muestra cómo el análisis de cada una de estas nueve capacidades cognitivas ayuda a explicar por qué la acumulación tecnológica ha evolucionado de manera notoria en los humanos en comparación con los simios.

Respecto a la comparación realizada por Vaesen (2012), esta se centra en las siguientes capacidades cognitivas: coordinación mano-ojo, plasticidad del esquema corporal, razonamiento causal, control ejecutivo, aprendizaje social, enseñanza, inteligencia social y lenguaje.

De sus hallazgos, Vaesen (2012) concluye que el uso de herramientas por parte de los humanos aún marca una importante discontinuidad cognitiva (tanto en términos de inteligencia social como no social) entre la especie

humana y sus parientes más cercanos. Agrega que solo los seres humanos han sido capaces de producir tecnologías complejas como sistemas de navegación por satélite, comunicación inalámbrica o *nanobots*, entre otros desarrollos significativos. Resalta, además, la notable contribución de la sofisticación cognitiva social y no social en la acumulación tecnológica.

Por otro lado, la literatura indica que el uso de herramientas tiene fundamentos neurocognitivos distintos que no se comparten, al menos en primates, con otras actividades típicamente clasificadas como uso de herramientas (Colbourne *et al.*, 2021).

Es importante destacar este tipo de estudios comparativos por su capacidad para proporcionar un marco de referencia respecto a la evolución de la cognición humana. Un ejemplo de ello es cómo, gracias al mejoramiento de la capacidad de la memoria de trabajo en los primeros homínidos y humanos, se dio paso al desarrollo de secuencias cada vez más complejas en la fabricación de herramientas (Haidle, 2010; Wynn y Coolidge, 2007, como se cita en Osiurak *et al.*, 2020). Al respecto, Sterelny (2021) afirma que en el Holoceno y el Pleistoceno tardío, la respuesta adaptativa a la variación ambiental se considera la principal causa de la variación en el tamaño y la complejidad de las herramientas humanas.

Conclusiones

De la revisión presentada hasta aquí, se pueden caracterizar tres líneas de investigación en las cuales se ha procurado un acercamiento a la comprensión de los procesos cognitivos implicados en el pensamiento tecnológico. La primera línea se orienta al estudio de los procesos cognitivos asociados al pensamiento tecnológico, destacando el trabajo de Halfin (1973), quien, con su clasificación de 17 procesos cognitivos, estableció las bases para estudios posteriores en torno al pensamiento tecnológico. La segunda línea está dirigida al estudio de los procesos cognitivos asociados a la solución de problemas tecnológicos, considerando que algunos procesos cognitivos pueden ser compartidos con otros tipos de pensamiento. Esta situación, en cierta medida, dificulta la identificación de procesos cognitivos específicos para el pensamiento tecnológico. Esto puede evidenciarse en personas con diferentes niveles de experiencia; así, los expertos emplean estrategias cognitivas distintas que incrementan el uso de sus experiencias, conocimientos previos y estrategias metacognitivas, lo cual facilita un mayor enfoque en la solución de problemas (Jonassen, 2011).

La tercera línea se orienta al estudio de los procesos cognitivos relacionados con el uso de herramientas tecnológicas. Esta se destaca por proporcionar elementos más precisos a la hora de estudiar los procesos cognitivos que subyacen al pensamiento tecnológico. Aunque los trabajos revisados hasta aquí establecen orientaciones consistentes y brindan aportes notablemente representativos respecto a dichos procesos, Vaesen (2012) y Osiurak *et al.* (2020) proporcionan, en el

marco de la evolución humana como especie y la neurocognición, evidencia de la existencia de procesos cognitivos exclusivos de la especie humana dentro del contexto tecnológico. Ejemplos de estos son la capacidad para realizar razonamientos sobre medios técnicos proporcionados por los objetos (Gagnepain, 1990) y la capacidad de los individuos para analizar sus acciones físicas sobre el mundo, ya sea como fin (pilar del razonamiento tecnológico) o como medio (Osiurak *et al.*, 2020).

En este mismo sentido, Osiurak *et al.* (2020) señalan que una presunción clave es que el razonamiento tecnológico determina los medios técnicos adecuados para llevar a cabo la actividad deseada. Además, este razonamiento es abstracto, ya que no se basa en ninguna representación del objeto, y, en consecuencia, una vez finalizado el análisis técnico, el producto mental solo se materializa en objetos físicos disponibles en el entorno.

Por otro lado, entre los hallazgos más importantes a resaltar se encuentran la ubicación de los procesos de razonamiento tecnológico en el área parietal frontal dentro del lóbulo parietal inferior izquierdo (Osiurak *et al.*, 2020), la notoria discontinuidad cognitiva entre la especie humana y sus parientes más cercanos (Vaesen, 2012), y la sofisticación cognitiva social y no social, la cual ha contribuido a la acumulación tecnológica (Osiurak *et al.*, 2018; Osiurak *et al.*, 2021; Vaesen, 2012).

En cuanto a la pregunta que compete a esta reflexión, ¿cuáles son los procesos cognitivos que subyacen al pensamiento tecnológico?, aunque Osiurak y Vaesen señalan una serie de procesos subyacentes al uso y fabricación de herramientas, aún se requieren más investigaciones sobre las bases neurocognitivas del pensamiento tecnológico en otros ámbitos, más allá del uso y fabricación de herramientas. Esto es especialmente relevante

cuando la evolución de las tecnologías físicas hacia formas sofisticadas y simbióticas tiende a reprimir progresivamente el razonamiento tecnológico y práctico (Osiurak *et al.*, 2018). Cabe agregar que la interacción con herramientas puede presentarse en varios niveles, desde los más específicos, como la observación, hasta procesos más complejos como la evaluación ética (Merchán, 2018). En este mismo sentido, el uso de herramientas depende de los procesos cognitivos, el agenciamiento sobre los objetos adheridos al cuerpo y el control de los grados de libertad corporales que ocurren en el sistema cuerpo-objeto-tarea-ambiente. Asimismo, en conjunto, estos procesos distinguen el uso de herramientas de otras soluciones instrumentales a problemas (Mangalam *et al.*, 2022).

A la luz de la presente revisión, se pueden considerar nueve procesos cognitivos que subyacen al pensamiento tecnológico, en los cuales la mayoría de los autores coinciden al hacer referencia a ellos de manera directa o indirecta dentro de sus postulados. Estos son: razonamiento tecnológico, razonamiento causal, conceptualización, creatividad (innovación), investigación (cultura tecnológica acumulativa), habilidades de la teoría de la mente (habilidades pedagógicas-imitación), memoria de trabajo (secuenciación compleja), control motor (coordinación ojo-mano) e hipotetizar (prever).

Asimismo, como lo propone Osiurak *et al.* (2020), también se requiere la creación de un nuevo campo dentro de las ciencias cognitivas, denominado *tecnición*, cuyo objetivo sea reunir toda la investigación interesada en las bases neurocognitivas de la capacidad humana para resolver problemas y transformar significativamente el entorno físico.

Hasta aquí, la revisión ha arrojado elementos importantes respecto a los procesos

cognitivos subyacentes al pensamiento tecnológico. Sin embargo, aún se requieren más investigaciones que proporcionen relatos neuronales sobre aspectos como el uso de herramientas opacas, los niveles de formación tecnológica, el razonamiento técnico en ambientes virtuales, entre otros aspectos igualmente relevantes.

Por otro lado, los hallazgos presentados respaldan el postulado de Osiurak *et al.* (2020) y Osiurak (2020) sobre la necesidad de dedicar más esfuerzos al estudio de la mente tecnológica del ser humano en relación con las bases de la cultura tecnológica acumulativa, la cual puede considerarse como un conjunto de múltiples redes interconectadas, cada una con su propia historia evolutiva (Osiurak *et al.*, 2020; Vaesen, 2012).

En este mismo sentido, entre las diferentes funciones cognitivas, solo el lenguaje y el uso de herramientas se caracterizan por una lateralización muy marcada en el hemisferio izquierdo (Osiurak, 2020). Actualmente se considera de gran relevancia el estudio de la evolución de la cognición tecnológica, hasta el punto de que se han formulado dos grandes hipótesis sobre el desarrollo humano del lenguaje: la primera plantea que el razonamiento tecnológico brindó las bases neuronales para el desarrollo del lenguaje; la segunda señala que tanto el razonamiento tecnológico como el lenguaje se desarrollaron simultáneamente (Osiurak *et al.*, 2021).

Cabe mencionar que, actualmente, como resultado de un estudio doctoral, también se está investigando sobre los procesos cognitivos que caracterizan el pensamiento científico y el pensamiento tecnológico, basándose en la actividad cortical del cerebro y el uso de la electroencefalografía. Es importante destacar que este estudio surge de la necesidad de establecer criterios de comparación entre ambos tipos de pensamiento y, además, de orientar el diseño de actividades escolares que fomenten el desarrollo de procesos mentales específicos en la enseñanza de la tecnología.

Referencias

- Aguirre, R. y Moreira, K. (2015). Pensamiento y lenguaje. En A. Vázquez (ed.) *Manual de introducción a la psicología cognitiva* (pp. 147-178). Universidad de la Rioja.
- Arenas, A., Ortiz, C. y Álvarez, L. (2005). Transferencia del conocimiento tecnológico al aula: estructuración el pensamiento tecnológico mediante la enseñanza del diseño. *Revista uis Ingenierías*, 4(2), 129-138. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=553756895003>
- 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(3), 143-147. <https://doi.org/10.1155/2007/241670>
- Buxbaum, L. y Saffran, E. (2002). Knowledge of Object Manipulation and Object Function: Dissociations in Apraxic and Nonapraxic Subject. *Brain and Language*,

- 82(2), 179-199. [https://doi.org/10.1016/S0093-934X\(02\)00014-7](https://doi.org/10.1016/S0093-934X(02)00014-7)
- Buxbaum, L., Johnson-Frey, S. y Bartlett-Williams, M. (2005). 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>
- Buxbaum, L., Schwartz, M. y Carew, T. (1997). The Role of Memory in Object Use. *Cognitive Neuropsychology*, 14(2), 219-254. <https://doi.org/10.1080/026432997381565>
- Buxbaum, L., Sirigu, A., Schwartz, M. y Klatzky, R. (2003). Cognitive Representations of Hand Posture in Ideomotor Apraxia. *Neuropsychologia*, 41(8), 1091-1113. [https://doi.org/10.1016/S0028-3932\(02\)00314-7](https://doi.org/10.1016/S0028-3932(02)00314-7)
- Cárdenas, E. (2013). Pensamiento tecnológico en una muestra de estudiantes del área de Tecnología e Informática. *Informador Técnico*, 77(2), 125-135. <https://doi.org/10.23850/22565035.53>
- Chaquea, D. y Chamorro, C. (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>
- Colbourne, J., Auersperg, A., Lambert, M., Huber, L. y Völter, C. (2021). Extending the Reach of Tooling Theory: A Neurocognitive and Phylogenetic Perspective. *Topics in Cognitive Science*, 13(4), 548-572. <https://doi.org/10.1111/tops.12554>
- Custer, R. (1995). Examining Dimensions of Technology. *International Journal of Technology and Design Education*, 5, 1-25. <https://doi.org/10.1007/BF00769905>
- Dunbar, K. y Klahr, D. (2012). Scientific Thinking and Reasoning. *The Oxford Handbook of Thinking and Reasoning* (pp. 701-718). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780199734689.001.0001>
- Edelman, G. (1992). *Bright, Air, Brilliant Fire: On the Matter of the Mind*. Basic Books.
- 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., 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(1), 11840. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-15587-8>
- Fugelsang, J. y Dunbar, K. (2005). 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.
- 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.
- Gagnepain, J. (1990). *Du vouloir dire. Du signe, de l'outi*. De Boeck Université.
- Gall, D. le. (1998). *Des apraxies aux atechnies. Propositions pour une ergologie clinique*. De Boeck Université.
- Glasser, M., Coalson, T., Robinson, E., Hacker, C., Harwell, J., Yacoub, E., Ugurbil, K., Andersson, J., Beckmann, C., Jenkinson, M., Smith, S. y Essen, D. van. (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(7), 581-589. [https://doi.org/10.1016/S0028-3932\(97\)00165-6](https://doi.org/10.1016/S0028-3932(97)00165-6)

- González, W. y Hernández, L. (2000). Tecnología y técnica: tres perspectivas. *Energía y Computación*, 9(1), 6-19. <https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/server/api/core/bitstreams/ea93d993-d126-45b3-bdc7-589d05c0f721/content>
- Halfin, H. (1973). *Technology: A process Approach* [Tesis de doctorado, Universidad del Este de Virginia].
- Hartmann, K., Goldenberg, G., Daumuller, 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(4), 625-637. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2004.07.015>
- Hill, R. (1997). The Design of an Instrument to Assess Problem Solving Activities in Technology Education. *Journal of Technology Education*, 9(1), 31-46. <https://doi.org/10.21061/jte.v9i1.a.3>
- Hill, R. y Wicklein, R. (1999). A Factor Analysis of Primary Mental Processes for Technological Problem Solving. *Journal of Industrial Teacher Education*, 36(2), 87-100. <https://scholar.lib.vt.edu/ejournals/JITE/v36n2/hill.html>
- 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(9), 1913-1925. <https://doi.org/10.1093/brain/123.9.1913>
- 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. *National Academy of Sciences of the USA*, 96(16), 9444-9448. <https://doi.org/10.1073/pnas.96.16.9444>
- Holyoak, K. y Morrison, R. (2012). Thinking and Reasoning: A Reader's Guide. En K. Holyoak y R. Morrison (eds.), *The Oxford Handbook of Thinking and Reasoning* (pp. 1-7). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/OXFORD-HB/9780199734689.013.0001>
- Hund, E. (1997). Nature vs. Nurture: The Feeling of *vuja de*. En R. Sternberg y E. Grigorenko (eds.), *Intelligence, Heredity, and Environment* (pp. 531-551). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139174282.020>
- Jonassen, D. (2011). Supporting Problem Solving in PBL. *Interdisciplinary Journal of Problem-Based Learning*, 5, 95-119. <https://doi.org/10.7771/1541-5015.1256>
- Kelley, T., Daniel, M., Brenner, C., High, B., Jon, S. y Pieper, T. (2010). Two Approaches to Engineering Design: Observations in Stem Education. *Journal of Stem Teacher Education*, 47(2), 5-40. <https://ir.library.illinoisstate.edu/jste/vol47/iss2/4/>
- Lammi, M. y Becker, K. (2013). Engineering Design Thinking. *Journal of Technology Education*, 24(2), 55-77. <https://jte-journal.org/articles/10.21061/jte.v24i2.a.5>
- Lawson, B. (2005). *How Designers Think: The Design Process Demystified*. Architectural Press.

- Mangalam, M., Frigaszy, D., Wagman, J., Day, B., Kely-Stephen, D., Bongers, R., Stout, D. y Osiurak, F. (2022). On the Psychological Origins of Tool Use. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 134, 104521. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2022.104521>
- Martín, M. y Osorio, C. (2003). Educar para participar en ciencia y tecnología. Un proyecto para la difusión de la cultura científica. *Revista Iberoamericana de Educación*, 32, 165-210. <https://doi.org/10.35362/RIE320927>
- McCormack, T., Hoerl, C. y Butterfi, S. (2012). Tool Use and Causal Cognition. An Introduction. En T. McCormack (ed.), *Tool Use and Causal Cognition* (pp. 1-17). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780199571154.003.0001>
- Merchán, C. (2018). *Orientaciones para el uso de estrategias didácticas en el desarrollo del pensamiento tecnológico*. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC).
- Ochipa, C., Rothi, L. y Heilman, K. (1989). Ideational Apraxia: A Deficit in Tool Selection and Use. *Annals of Neurology*, 25(2), 190-193. <https://doi.org/10.1002/ana.410250214>
- Ochipa, C., Rothi, L. y Heilman, K. (1992). Conceptual Apraxia in Alzheimer's Disease. *Brain*, 115(4), 1061-1071. <https://doi.org/10.1093/brain/115.4.1061>
- Oliveira, E. de., Reynaud, E. y Osiurak, F. (2019). Roles of Technical Reasoning, Theory of Mind, Creativity, and Fluid Cognition in Cumulative Technological Culture. *Human Nature*, 30, 326-340. <https://doi.org/10.1007/s12110-019-09349-1>
- Osiurak, F. (2020). *The Tool Instinct*. Wiley Blackwell. <https://doi.org/10.1002/9781119720348>
- Osiurak, F. y Badets, A. (2016). Tool Use and Affordance: manipulation-based versus reasoning-based Approaches. *Psychological Review*, 123(5), 534-568. <https://doi.org/10.1037/rev0000027>
- Osiurak, F. y Heinke, D. (2018). Looking for Intoolelligence: A Unified Framework for the Cognitive Study of Human Tool Use and Technology. *American Psychologist*, 73(2), 169-185. <https://doi.org/10.1037/amp0000162>
- Osiurak, F., Crétel, C., Uomini, N. y Bryche, C. (2021). On the Neurocognitive co-evolution of Tool Behavior and Language: Insights from the Massive Redeployment Framework. *Topics in Cognitive Science*, 13(4), 684-707. <https://doi.org/10.1111/tops.12577>
- Osiurak, F., Jarry, C. y Gall, D. le. (2010). Grasping the Affordances, Understanding the Reasoning: toward a Dialectical Theory of Human Tool Use. *Psychological Review*, 117(2), 517-540. <https://doi.org/10.1037/a0019004>
- Osiurak, F., Jarry, C., Allain, P., Aubin, G., Etcharry-Bouyx, F., Richard, I., Bernard, I. y Gall, D. le. (2009). Unusual Use of Objects After Unilateral Brain Damage. The Technical Reasoning Model. *Cortex*, 45(6), 769-783. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2008.06.013>
- Osiurak, F., Lasserre, S., Arbanti, J., Brogniart, J., Bluet, A., Navarro, J. y Reynaud, E. (2021). Technical Reasoning is Important for Cumulative Technological Culture. *Nature Human Behaviour*, 5(12), 1643-1651. <https://doi.org/10.1038/s41562-021-01159-9>
- Osiurak, F., Lesourd, M., Navarro, J. y Reynaud, E. (2020). Technition: When Tools Come Out of the Closet. *Perspectives on Psychological Science*, 15(4), 880-897. <https://doi.org/10.1177/1745691620902145>
- Remigereau, C., Roy, A., Costini, O., Osiurak, F., Jarry, C. y Gall, D. le. (2016). Involvement of Technical Reasoning more than Functional

Knowledge in Development of Tool Use in Childhood. *Frontiers in Psychology*, 7, 1-11. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.01625>

Rodríguez, A. y Maldonado, J. (2021). Causal Cognition and Skillful Tool Use. *Techne: Research in Philosophy & Technology*, 25(3). <https://doi.org/10.5840/techne2021118148>

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

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

Sterelny, K. (2021). Foragers and their Tools: Risk, Technology and Complexity. *Topics in Cognitive Science*, 13(4), 728-749. <https://doi.org/10.1111/tops.12559>

Sternberg, R. (1997). *Thinking Styles*. Cambridge University Press.

Stout, D. (2021). The Cognitive Science of Technology. *Trends in Cognitive Sciences*, 25(11), 964-977. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2021.07.005>

Strimel, G. (2014). *Engineering Design: A Cognitive Process Approach* [Tesis de doctorado, Old Dominion University]. <https://doi.org/10.25777/zzbj-b616>

Unesco. (2022). *Reimaginar juntos nuestros futuros: un nuevo contrato social para la educación*. Autor.

Vaesen, K. (2012). The Cognitive Bases of Human Tool Use. *Behavioral and Brain Sciences*, 35(4), 203-218. <https://doi.org/10.1017/S0140525X11001452>

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

Wicklein, R. y Rojewski, J. (1999). Toward a Unified Curriculum Framework for Technology Education. *Journal of Industrial Teacher Education*, 36(4), 38-56. <https://scholar.lib.vt.edu/ejournals/JITE/v36n4/wicklein.html>

Witt, J. (2021). Tool Use Affects Spatial Perception. *Topics in Cognitive Science*, 13(4), 666-683. <https://doi.org/10.1111/tops.12563>

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>