

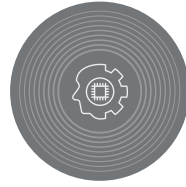
Modelación de procesos de aprendizaje en escenarios computacionales

Luis Bayardo Samabria Rodríguez



UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA
NACIONAL

Educadora de educadores

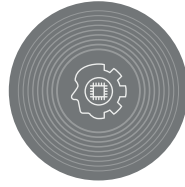


Modelación de procesos de aprendizaje en escenarios computacionales



UNIVERSIDAD PEDAGOGICA
NACIONAL

Educadora de educadores



Modelación de procesos de aprendizaje en escenarios computacionales

Luis Bayardo Sanabria Rodríguez



UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA
NACIONAL

Educadora de educadores

Catalogación en la fuente - Biblioteca Central de la Universidad Pedagógica Nacional

Sanabria Rodríguez, Luis Bayardo

Modelación de procesos de aprendizaje en escenarios computacionales. Estrategias para una pedagogía con incorporación de tecnologías digitales / Luis Bayardo Sanabria Rodríguez. - Bogotá.

Universidad Pedagógica Nacional, 2023.

222 páginas.

Incluye: Referencias bibliográficas.

ISBN: 978-628-7518-94-0

ISBN PDF: 978-628-7518-96-4

ISBN ePub: 978-628-7518-95-7

1. Innovaciones Educativas. 2. Tecnología de la Información y la Comunicación - Uso Pedagógico.
3. Enseñanza con Ayuda de Computadores. 4. Tecnología Educativa. 5. Aprendizaje - Tecnología Digital.
6. Educación - Innovaciones Tecnológicas. 7. Internet en la Educación.

371.334 21.ed.

Colección

Comunicación, Tecnología y Culturas en Educación

Modelación de procesos de aprendizaje
en escenarios computacionales

Autor: Luis Bayardo Sanabria Rodríguez
© Universidad Pedagógica Nacional

ISBN impreso: 978-628-7518-94-0

ISBN PDF: 978-628-7518-96-4

ISBN ePub: 978-628-7518-95-7

Primera edición, 2023

Alejandro Álvarez Gallego
Rector

Yeimy Cárdenas Palermo
Vicerrectora Académica

Mireya González Lara
Vicerrectora de Gestión Universitaria

Gabriel Rueda Delgado
Vicerrector Administrativo y Financiero

Gina Paola Zambrano Ramírez
Secretaría General

Preparación editorial

Grupo Interno de Trabajo Editorial

Universidad Pedagógica Nacional

Carrera 16A n.º 79-08

editorial.upn.edu.co

Teléfono: (57 1) 347 1190 - (57 1) 594 1894

Bogotá, Colombia

Alba Lucía Bernal Cerquera

Coordinación

Pablo A. Castro Henao

Edición

Martha Moreno

Corrección de estilo

Juan Camilo Corredor

Diagramación y diseño de la colección

Mauricio Esteban Suárez Barrera

Finalización de artes

Fredy Johan Espitia B.

Diseño de cubierta

Xpress Estudio Gráfico y Digital S. A. S.

Impresión

Hecho el depósito legal que ordena la Ley 44 de 1993 y decreto reglamentario 460 de 1995.



Esta publicación puede ser distribuida, copiada y exhibida por terceros si se mencionan los créditos correspondientes. No se puede obtener ningún beneficio comercial.

No se pueden realizar obras derivadas.

Contenido

Prólogo	11
---------	----

Agradecimientos	17
-----------------	----

Prefacio	19
----------	----

Capítulo 1. La naturaleza del conocimiento humano y su relación con el comportamiento en tareas de aprendizaje	29
---	-----------

Esencia del conocimiento humano: formación de conocimiento y aprendizaje	31
--	----

La ciencia cognitiva y su relación con la pedagogía	34
---	----

El aprendizaje y las tecnologías digitales	37
--	----

Interacción del estudiante como objeto de modelamiento en el proceso de aprendizaje	40
---	----

Contextualización de las teorías de aprendizaje para la modelación de ambientes	
---	--

de aprendizaje mediados por tecnologías digitales	44
---	----

Síntesis del capítulo	52
-----------------------	----

Capítulo 2. Procesos cognitivos en el aprendizaje	55
--	-----------

Percepción y aprendizaje	57
--------------------------	----

Memorización y aprendizaje	60
----------------------------	----

Comprensión como una forma de aprendizaje	64
---	----

Razonamiento y aprendizaje	65
----------------------------	----

Toma de decisiones y aprendizaje	68
----------------------------------	----

Solución de problemas y aprendizaje	75
-------------------------------------	----

Síntesis del capítulo	79
-----------------------	----

Capítulo 3. Modelación de procesos mentales en tareas de aprendizaje	81
Rastreo y captura de información en tareas de aprendizaje	83
Segmentación y codificación de información en tareas de aprendizaje	90
Interpretación de fenómenos significativos y definición de patrones en la realización de una tarea de aprendizaje	96
Modelación e inferencia del proceso cognitivo en una tarea de aprendizaje	98
Síntesis del capítulo	103

Capítulo 4. Ambientes de aprendizaje apoyados en recursos digitales	105
Modelación del aprendiz en un ambiente de aprendizaje	111
Modelación de conocimiento en un ambiente de aprendizaje	117
Modelación pedagógica	121
Modelación de interacciones comunicativas y recursos de aprendizaje	127
Síntesis del capítulo	143

Capítulo 5. Tendencias y predicciones de las tecnologías de la información en la educación	145
Internet de las cosas en educación	148
Aprendizaje ubicuo con tecnologías inteligentes	150
Aprendizaje en la nube	158
Ecosistemas de aprendizaje	163
Conectivismo para aprendizaje en la web semántica	170
Realidad aumentada para la generación de ambientes de aprendizaje	172
Robótica en educación	174
Síntesis del capítulo	176

Referencias	179
Índice de autores	203
Índice temático	213

Prólogo

El libro del doctor Luis Bayardo Sanabria me recuerda el reto vivido en la Universidad Pedagógica Nacional de Bogotá al organizar un entorno para el desarrollo educativo que integrara los avances promisorios de la investigación en educación. Reconocer el potencial de la ciencia cognitiva como núcleo fundante de ese ecosistema ayudó a superar obstáculos generados por conflictos entre corrientes de pensamiento e impulsar la investigación. En ese contexto, la simulación y el desarrollo de modelos se introduce como proceso metodológico de especial valor en la generación de conocimiento validable. En estricto sentido, simular es una práctica muy antigua. Comparar sistemas que se imaginan con sistemas conocidos para poder entender su dinámica ha sido una estrategia cognitiva común en los escritores y enriquecedora de la comunicación. Los sistemas mejor conocidos se toman como base para hacer conjeturas sobre la estructura, propiedades o comportamientos de los menos conocidos.

El desarrollo de analogías y metáforas —pensar comparando— es valioso tanto en el arte y la literatura como en la matemática. Por ejemplo, Pablo Neruda dice: “Para que tú me oigas mis palabras se adelgazan a veces como las huellas de las gaviotas en las playas” (1968, Poema 5). En matemáticas, a partir de la observación, desarrollar el concepto de punto y recta ha sido base para modelar otros sistemas no tan abstractos. Que por dos puntos pasa una recta y solo una, y que tres puntos que no están en línea recta, si se unen con líneas rectas, forman un triángulo, puede tomarse para modelar comunicación entre personas. De hecho, los grafos son estructuras de puntos y vínculos entre ellos usados para simular la comunicación entre miembros de grupos en el análisis de redes sociales.

En la comparación de pares de sistemas se puede hallar que a cada elemento en uno corresponde un elemento en el otro y que, a su vez, para cada relación entre parejas de elementos en el uno hay una correspondiente en el otro —isomorfismo—, o encontrar una equivalencia parcial o incompleta y hablar de homomorfismo. En la base de las comparaciones están las imágenes; por eso se puede decir que modelar es un ejercicio de imaginación: las imágenes que tenemos de sistemas conocidos son el soporte para crear nuevas imágenes mentales de lo que estamos conociendo.

Antes de evolucionar a ser habladores, los humanos seguramente aprendimos observando a otros e imitando. Como lo expresa Heyes (2018), la imitación es un poderoso dispositivo de aprendizaje. De allí fue surgiendo la práctica de los mayores que enseñan —muestran— a los menores lo que saben. El que enseña se muestra actuando ante otros —especie de simulación— y los observadores, consciente o inconscientemente, imitan. Es una práctica única y poderosa de la especie en su evolución.

La etapa de producción de lenguaje en la evolución cognitiva también se relaciona con la simulación. Algún primate pudo imaginar a un león que llega y genera la expresión verbal: ‘león’, la cual es entendida por sus colegas que se disparan a correr. Nace la narrativa, un motor de fantasía y creación de modelos. Los modelos verbales se manifiestan en poesía y cuentos, en escenarios fantásticos como los olimpos, los cielos, los dioses y los reinos imposibles, y se vinculan al control mutuo. A veces aparecen los dogmas vinculados al ejercicio de la violencia, o su contraparte, la libre creación, madre de la literatura.

La narrativa hablada alimentó otro paso importante en la evolución de nuestra especie, el relato escrito, que potencia la memoria, habilita la edición de las representaciones y apoya la formación del cerebro escritor y del cerebro lector. Escribir y revisar, leer y releer son sistemas de acción que activan la evolución del pensamiento crítico. La escritura es una tecnología poderosa para su desarrollo de procesos analíticos constructivos: tener una primera imagen y

formar una imagen sobre la primera y editarla. En un desarrollo más elaborado se generan secuencias en espiral de procesos de construcción de simulaciones de sistemas en expresión verbal o gráfica como manifestaciones de corrientes de pensamiento. La narrativa, como todos los aprendizajes humanos, se vincula naturalmente a la solución de problemas para la supervivencia de la especie, del individuo, de su familia o de sus estructuras de poder. En esta lógica, la matemática aparece como uno de sus componentes. Simular viene a ser el proceso por el cual se generan modelos como descripciones de algún aspecto del mundo y que sirven para anticipar lo que puede suceder. Entre más precisos los modelos, mejores las predicciones y más útiles.

La investigación en neurociencia cognitiva encuentra evidencias de que el cerebro actúa como dispositivo de predicción: la función perceptiva opera integrando la representación, la acción, la emoción, la propiocepción y el reconocimiento del efecto de la acción sobre el entorno —información de retorno o *feedback*—. Reducir el error en la predicción es la lógica del aprendizaje: el aprendiz busca crear modelos dinámicos y actualizables de sistemas en el entorno mediante información sobre el efecto de su acción sobre el ambiente externo e interno (Baron-Cohen, 2020; Maldonado, 2012). El aprendizaje se manifiesta como una relación funcional entre sistemas en el entorno, patrones de reconocimiento, acción y emoción cuyo efecto es el control del ecosistema y de sí mismo, y aprender es un proceso de sincronización del cambio del propio sistema con el cambio de los sistemas que lo rodean para el desarrollo vital adaptativo.

Entender el proceso de aprendizaje ha sido una tarea históricamente difícil. Los intentos de los investigadores se encuentran frente a un sistema de gran complejidad, pues ponen en relación dos subsistemas complejos: el agente que aprende y su entorno. Construir modelos holísticos, con integración de los elementos fundamentales con un nivel analítico adecuado y manejable, ha sido todo un reto en cuya lógica se inscribe este libro.

Se puede simular el sistema de aprendizaje en su conjunto o cualquiera de los subsistemas que lo conforman. Cuando se simula el entorno, se pueden analizar las consecuencias en las experiencias de aprendizaje. También se puede modelar la estructura neuronal del que aprende, o los patrones de reconocimiento basándose en la información que pueden suministrar los actuales instrumentos de medición. Simular el aprendizaje para comprenderlo puede ser una perspectiva y otra, la de utilizar modelos de entorno y de interacción para mejorar el aprendizaje. En cualquiera de estas perspectivas, la investigación es muy importante y la simulación, un método poderoso.

El libro presenta al computador como dispositivo de simulación. Uno de los problemas importantes de la IA en su nacimiento fue simular el aprendizaje. La red neuronal, el perceptrón o los algoritmos genéticos ejemplifican tendencias de simulación computacional interesadas en el aprendizaje. Los tutores inteligentes simulan procesos pedagógicos enmarcados en concepciones específicas del aprendizaje. La neurociencia computacional en la actualidad sigue en desarrollo, consciente de que lo interesante no es tanto emular al aprendiz humano como entender el aprendizaje. La analítica del aprendizaje es una continuidad de ese interés (Chernikova *et al.*, 2020).

El computador puede tomar información en tiempo real, procesarla y replicar procesos. La replicación de procesos, el estudio de rutas o secuencias posibles y la optimización de secuencias para lograr objetivos puede contribuir a mejorar estrategias de aprendizaje. El diseño de entornos que simulan dinámicas del mundo físico o social puede ser la base para optimizar el desarrollo de experiencias de aprendizaje.

Simular el entorno, simular la estructura del aprendiz o simular el proceso de aprendizaje son alternativas posibles y complementarias. El modelamiento es considerado como una metodología potente para comprender sistemas complejos. Por ejemplo, se sabe que el estudio del cerebro, del genoma humano o la caracterización del cerebro lector, se han apoyado en la simulación. Lo interesante

del modelamiento al nacer la ciencia cognitiva es que las teorías se vinculan con programas de computador que pueden generar datos, que de ser posible se contrastan con información empírica para evaluar la consistencia de las teorías.

En conclusión, se puede decir, que el libro del profesor Sanabria trata uno de los temas que figuran entre los enfoques más promisorios para investigar estructuras, procesos, entornos y experiencias de aprendizaje.

Luis Facundo Maldonado Granados, Ph. D.

Agradecimientos

Este libro ha sido gratamente influenciado por algunas personas que de una u otra forma aportaron con sus experiencias investigativas al desarrollo del texto. En particular, debo agradecer al doctor Luis Facundo Maldonado, por hacerme partícipe en sus trabajos investigativos, en los que obtuve conceptos e ideas que pude plasmar en este texto y que con su lectura juiciosa hizo críticas constructivas para mejorar la edición de este texto. Así mismo debo reconocer algunas experiencias e ideas vividas en torno a la investigación con apoyo de tecnologías digitales de mis colegas en los grupos de investigación Cognitek y Tecnice, de quienes recogí conceptos relevantes para la elaboración de esta guía en la modelación de escenarios de aprendizaje con apoyo en tecnologías de la información.

De otro lado, agradezco a la Universidad Pedagógica Nacional, por darme la oportunidad y el tiempo en el año sabático para escribir esta obra. Sin este espacio hubiese sido complejo producir un trabajo como el que estoy presentando. También debo resaltar la entereza del doctor Cristian Hederich, por dedicar su tiempo a la lectura de este escrito, agradeciéndole sus comentarios que enriquecieron la obra, durante la presentación en el doctorado.

Finalmente, como siempre, agradezco a mi familia por su comprensión, apoyo y paciencia en mi preocupación para producir el libro. Espero en un futuro que todos puedan disfrutar de los beneficios y oportunidades que ofrecen las tecnologías digitales.

Prefacio

La educación ha venido generando diferentes formas de aprendizaje, armonizadas en escenarios en los que participa el estudiante como principal actor. La manifestación de sus necesidades educativas es el mecanismo mediante el cual se establece un vínculo con los agentes que configuran una actividad de aprendizaje. El ingrediente principal que alimenta un proceso de aprendizaje son las acciones y comportamientos, exteriorizados por el aprendiz cuando asume una tarea de aprendizaje. Estos elementos comunicativos develan sus necesidades de aprendizaje y sirven de insumo para tomar decisiones sobre las estrategias pedagógicas y los recursos que realimentan un proceso de aprendizaje. Existe el convencimiento de que el actor central del aprendizaje (estudiante) se convierte en un agente que aporta todos los elementos necesarios para delinear los recursos que sustentan el proceso de aprendizaje. De acuerdo con Piaget y García (1991), el conocimiento se construye a partir de las acciones del estudiante en su contexto experimental. Al respecto, Biggs (1989; 1993) ubica al estudiante en un sistema interactivo del proceso de aprendizaje en el que actúan tres elementos: el ambiente de aprendizaje que interactúa con las características del estudiante, la inmersión del estudiante en el proceso de aprendizaje y las metas de aprendizaje. Este ciclo interactivo vincula las características personales del estudiante (conocimientos previos, habilidades, factores motivacionales y personales) y las características situacionales que definen el ambiente de aprendizaje (estrategias de aprendizaje, diseño de la tarea y disposición de recursos). La relación establecida entre los dos contextos determina el proceso y los resultados del aprendizaje (Anderson, Greeno, Reder y Simon, 2000; Greeno, 1998).

A partir de estas posiciones teóricas, se consideraría el proceso de aprendizaje como un sistema interactivo de procesamiento de información que incluye las acciones del estudiante y la respuesta,

tanto del profesor como el apoyo de los recursos del ambiente. Este sistema implica modelar al estudiante para disponer una estructura pedagógica que va a retroalimentar su proceso de aprendizaje. Aquí empiezan a tener un papel relevante las tecnologías de la información, en las que una de sus funciones computacionales es traducir las acciones del estudiante en modelos dinámicos, interpretados por acciones pedagógicas a través de agentes artificiales con el objeto de proveer retroalimentación en un ambiente de aprendizaje (Maldonado, Ortega, Sanabria y Macías, 2001). Las acciones pedagógicas combinan el modelamiento del profesor como aportante de su experiencia en el uso de estrategias y tácticas de aprendizaje y otros agentes que hacen parte del ambiente. La asociación de estas características personales, tanto del estudiante como del profesor, se convierte en el punto de partida para el diseño de actividades y el uso de recursos que conformarían un ambiente de aprendizaje. Para ello es preciso considerar la inteligencia artificial como artífice en la modelación de la interacción del estudiante con el profesor, en una dinámica generada por todos los recursos disponibles de una actividad de aprendizaje. A este respecto, las características de un proceso de aprendizaje dependerían de lo que el estudiante conoce y lo que él realiza en su interacción con el ambiente (Akhras y Self, 2000). Con este planteamiento toma relevancia la modelación de la interacción del estudiante con su entorno de aprendizaje. Conforme a Akhras y Self (2000), la modelación del estudiante se establece a partir del contexto de aprendizaje, las situaciones de aprendizaje y los procesos interactivos.

Si se toma el modelamiento como un elemento indispensable en el aprendizaje, la observación del comportamiento de los individuos, de manera probable, identifica los hechos codificados como patrones, convirtiéndose en una guía para realizar acciones, que para el caso del aprendizaje se convierten en modelos de retroalimentación (Bandura, 1977). Con el uso de la tecnología, la modelación del estudiante interpreta las acciones comportamentales del aprendiz en una tarea de aprendizaje para proveer realimentación a partir de esta información (Lajoie, 2000). Debido a la complejidad y los

grandes volúmenes de datos provenientes de las acciones comportamentales de un estudiante cuando está inmerso en un proceso de aprendizaje, han emergido técnicas de análisis que ayudan a precisar los patrones de comportamiento del aprendiz. Estas técnicas se basan en minería de datos. Por ejemplo, se distinguen dos tipos de técnicas: *Educational Data Mining* (minería de datos educativos), cuyo objetivo se basa en obtener información de la forma como los estudiantes aprenden e identifican su ambiente de aprendizaje para determinar patrones que expliquen el proceso de aprendizaje (Romero y Ventura, 2012), y *Learning Analytics* (analíticas de aprendizaje), consistente en reunir y analizar los datos de los aprendices y sus contextos, con el fin de optimizar sus ambientes de aprendizaje (Papamitsiou y Economides, 2014). Así mismo, existen otros métodos de análisis enfocados al monitoreo de información producida por reportes verbales de pensamiento (Ericsson y Simon, 1993), rastreo visual (Van Gog y Jarodzka, 2013), registros motivacionales (Bernacki, Nokes-Malach y Alevan, 2013), registros fisiológicos y comportamentales (Azevedo, 2013; Burleson, 2013).

La evolución conceptual anterior enmarca el objetivo del libro, y así da una perspectiva en relación con la modelación de procesos de aprendizaje. La formación de estos modelos se basa en la interacción de las acciones cognitivas del estudiante, la disposición de una estructura pedagógica conformada por los recursos de aprendizaje y la participación de otros agentes realimentados por el proceso de aprendizaje y que responden a las expectativas planteadas por el aprendiz.

Con relación al modelamiento cognitivo se reconocen los avances de las tecnologías digitales en el rastreo de información para modelar al estudiante a partir de técnicas avanzadas en inteligencia artificial como el reconocimiento de voz e imagen, interfaces cerebro-computador, etc. Ahora bien, el contenido del texto fija un panorama conceptual para incentivar al lector en la construcción de ambientes de aprendizaje apoyados en tecnologías digitales, utilizando sistemas de modelamiento convencional a partir de

manifestaciones externas de comportamiento del individuo, tales como verbalización, acciones visuales, motrices y de gesticulación, empleados como fuente de información para representar los fenómenos cognitivos en el proceso de aprendizaje (Sanabria, 2014). Toma relevancia la formación del conocimiento humano y su interacción con la pedagogía y la ciencia cognitiva como áreas que estudian el aprendizaje, la cognición y el comportamiento del individuo. La ciencia cognitiva es el fundamento del procesamiento de la información, por lo que esta simbiosis se considera fundamental para el desarrollo de ambientes de aprendizaje. Desde el punto de vista del diseño, las tecnologías de la información cumplen una función importante en el modelamiento de todos los elementos que participan en el proceso de aprendizaje, acercándose a la construcción de ambientes de aprendizaje con componentes de inteligencia artificial. Este contexto plantea escenarios emergentes que ofrecen nuevas posibilidades para acercar al estudiante a desarrollar su aprendizaje con mayor autonomía, convirtiéndose en una potencial ayuda para la obtención de logros académicos.

Estructura del texto

El libro representa el trabajo de varios años dedicados a la formación de estudiantes en el uso de las tecnologías de la información como recurso para modelar procesos de aprendizaje en la conformación de ambientes de aprendizaje. Fundamentados en principios ya mencionados, esta obra recoge conceptos y aprendizajes de experiencias propias y trabajos elaborados por el grupo de investigación Cognitek, liderado por más de una década, cuyas realizaciones sirven como fuente para el análisis y la comprensión de los procesos de aprendizaje con tecnologías digitales. En este sentido, el contenido del texto, además de presentar una búsqueda rigurosa de literatura, incluye aportes del desarrollo investigativo y teórico fraguado en estos estudios. Instancias como la metacognición, la memoria, la percepción, la atención, el razonamiento,

la interacción en la solución de problemas, la autorregulación, entre otros, son algunos procesos cognitivos tratados en la consolidación de modelos computacionales útiles para fomentar la autonomía en el aprendizaje (Huertas, López y Sanabria, 2018; Maldonado, Fonseca, Ibáñez, Macías, Ortega, Rubio y Sanabria, 1999; Maldonado, López, Sanabria, Ibáñez, Sarmiento, Quintero y Valencia, 2004; Maldonado, Ortega, Sanabria y Macías, 2001; Moreno, Sanabria y López, 2016; Sanabria, 2015; Sanabria e Ibáñez, 2015; Sanabria y Macías, 2006; Valencia, López y Sanabria, 2018).

El contexto del libro trata de manera conceptual el modelamiento de escenarios de aprendizaje apoyados en tecnologías digitales a partir del conocimiento humano (figura 1). La estructura del escrito comienza en el análisis de la cognición y su relación con los procesos de aprendizaje y el procesamiento de la información, por lo cual se revisan algunas nociones teóricas relacionados con la pedagogía, la cognición y el procesamiento de información que apoyan el modelamiento cognitivo y su relación con el aprendizaje. El desarrollo del primer capítulo muestra un panorama sobre la formación del conocimiento en el ser humano y su representación tanto interna como externa; la relación de la ciencia cognitiva con la pedagogía y las tecnologías digitales en el proceso de aprendizaje; la interacción del aprendiz en lo que se refiere a modelamiento y su conexión con el aprendizaje, y la visión de los ambientes de aprendizaje relacionados con tecnologías digitales.

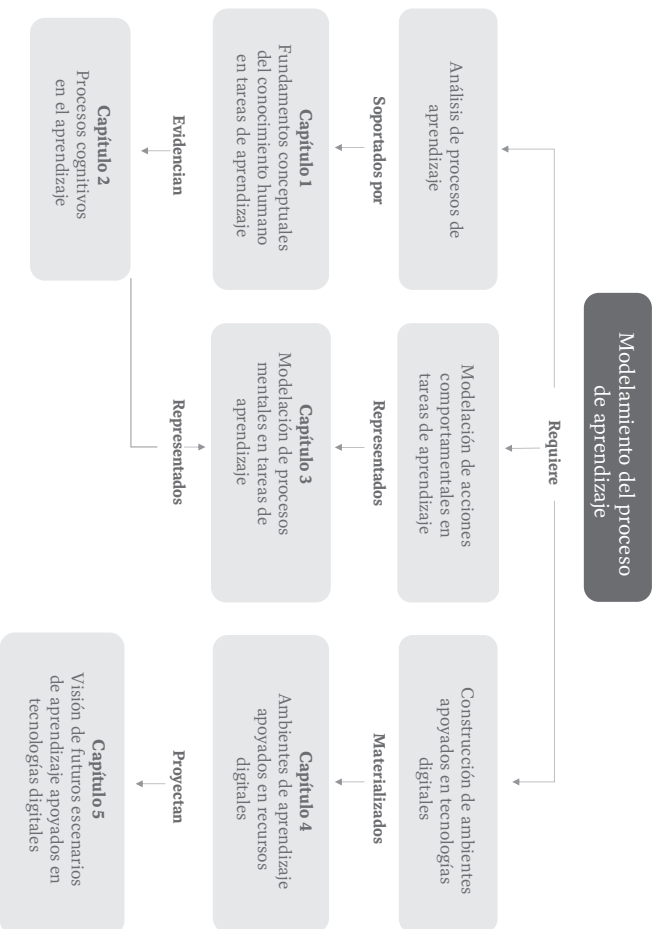


Figura 1. Articulación conceptual del libro.

Fuente: elaboración propia.

Para dar continuidad al texto se articula esta primera aproximación a la proyección de un segundo capítulo que enfatiza en los procesos cognitivos dados en el aprendizaje; con el ánimo de explicar algunos procesos cognitivos fundamentales en el aprendizaje. La percepción, la memoria, la comprensión, el razonamiento, la toma de decisiones y la solución de problemas son actividades cognitivas que se vinculan a los procesos de aprendizaje. La interacción de estos procesos conlleva el desarrollo del pensamiento computacional, que es objeto de estudio en el aprendizaje de los individuos de la era digital. Un tercer capítulo busca guiar algunos métodos para modelar los procesos de aprendizaje, tomando como punto de partida las arquitecturas cognitivas (Sun, 2016). Para ello, se plantean técnicas y metodologías utilizadas en el modelamiento de procesos cognitivos. Los modelos evidencian estrategias utilizadas por los individuos en la realización de tareas de aprendizaje. La simulación de estrategias de aprendizaje en programas de computador se proyecta en el estudio científico de problemas de aprendizaje. El cuarto capítulo propone métodos de modelamiento de los diferentes elementos que componen un ambiente de aprendizaje apoyado en tecnologías digitales, cuyo contenido se reposa sobre experiencias desarrolladas en procesos de investigación con las cuales se han definido modelos desarrollados con tecnologías digitales, aplicados al aprendizaje de algunas habilidades cognitivas (Maldonado, *et. al.* 2001; Sanabria, 1997; Sanabria e Ibáñez, 2015; Sanabria y Macías, 2005; Sanabria, Valencia e Ibáñez, 2017). En este apartado se pretende develar los modelos para ser aplicados a la construcción de escenarios de aprendizaje incorporando tecnologías digitales. Un principio fundamental son las arquitecturas cognitivas que sirven de marco referencial para la representación de conocimiento y la construcción de sistemas de inferencia, útiles en la interacción y retroalimentación de los ambientes de aprendizaje.

Finalmente, el capítulo cinco plantea prospectivas de futuros escenarios de aprendizaje que utilizan nuevas tecnologías digitales. Este apartado pretende mostrar algunas aplicaciones con un enfoque futurista para el aprendizaje a través de los medios digitales. Situaciones como el internet inteligente, el conectivismo, el aprendizaje ubicuo, los ecosistemas de aprendizaje, las redes

sociales, la web semántica, la realidad virtual, la realidad aumentada, la robótica, son, entre otros, modelos futuristas y nuevas formas de aprendizaje que es necesario tener cuenta en el desarrollo educativo. Con esta estructura se pretende ofrecer una alternativa para el lector en lo relacionado con los aportes teóricos, guías metodológicas y ejemplos de modelos generados y proyectados en investigaciones y aplicaciones para la educación del siglo XXI.

La ontología mostrada en la figura 2 evidencia las relaciones entre capítulos. Se presenta la jerarquía del libro a partir de tres componentes: las nociones teóricas (capítulo 1), apoyadas en el origen del conocimiento humano y su relación con la ciencia cognitiva, la pedagogía y el modelamiento cognitivo en el escenario de aprendizaje. El segundo componente tiene que ver con técnicas de modelamiento de la interacción del estudiante con su proceso de aprendizaje. El tercer componente implica la exposición de los partes de un ambiente de aprendizaje con el vínculo y proyección de las tecnologías digitales. Una instancia de los fundamentos conceptuales del conocimiento humano se origina en el estudio de los procesos cognitivos, en los que se busca explicar algunos procesos relevantes del cerebro que suceden en una tarea de aprendizaje (capítulo 2). Este tema se articula a los métodos de representación del comportamiento en el aprendizaje, en los que se orientan técnicas para el rastreo de la información durante el proceso de aprendizaje y la obtención de patrones que estructuran un modelo (capítulo 3).

La descripción de un ambiente de aprendizaje apoyado en tecnologías digitales se articula a diferentes modelos definidos en el capítulo 4; allí se explica el comportamiento del aprendiz en una tarea de aprendizaje, las estrategias pedagógicas que orientan la retroalimentación y las variables del ambiente. Una instancia final que complementa el diseño de escenarios de aprendizaje propone alternativas sobre el uso de nuevas tecnologías digitales para proyectar escenarios emergentes que prevén el futuro de estos medios en los procesos de enseñanza-aprendizaje (capítulo 5).

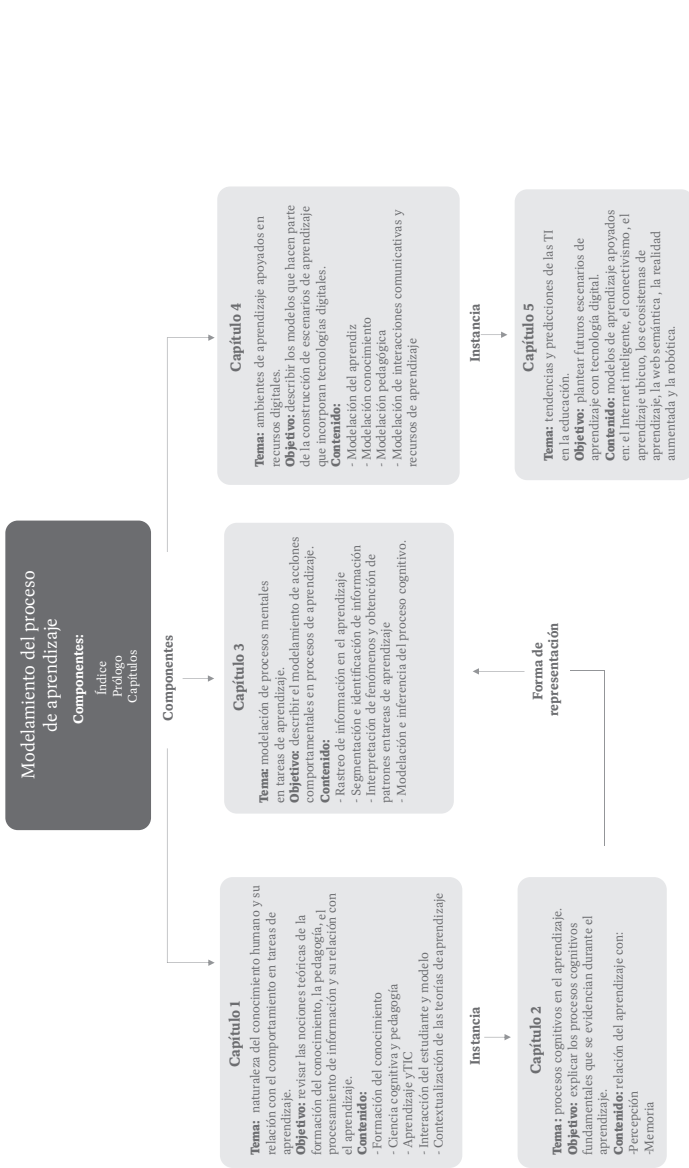


Figura 2. Ontología del libro.

Fuente: elaboración propia.

Capítulo 1

La naturaleza del conocimiento humano y su relación con el comportamiento en tareas de aprendizaje

Con el objeto de considerar una aproximación que vincule el conocimiento humano con el aprendizaje, se presentan diferentes enfoques que sustentan la relación entre la pedagogía, la ciencia cognitiva y las tecnologías digitales, y el conocimiento implícito y explícito para determinar las bases que orienten el diseño de ambientes de aprendizaje. El enfoque sobre el desarrollo de este contenido tiene gran influencia de las corrientes constructivistas sobre las cuales se construye el aprendizaje. Con la evolución del constructivismo desde la década de 1980 y su creciente aceptación en la educación se han generado nuevos contextos, asimilados por la tecnología que incorpora este postulado al desarrollo de recursos en el aprendizaje. Las teorías contemporáneas originadas en el constructivismo como el aprendizaje situado (Brown, Collins, y Duguid, 1989; Greeno, 1998; Lave y Wenger, 1991), la cognición social (Bandura, 1986; Smith y Semin, 2007; Gallese, Keysers y Rizzolatti, 2004), la teoría de la actividad (Engestrom, 1993; Roth, 2004; Plakitsi, 2013), la cognición distribuida (Hollan, Hutchins y Kirsh, 2000; Hutchins, 1995; Hutchins y Klausen, 1996), el aprendizaje centrado en el estudiante (Hannafin

y Land, 2000; Jonassen, 2000), las ecologías de aprendizaje (Barron, 2006; Jackson, 2013; Seimens, 2007), el razonamiento basado en casos (Jonassen y Hernández, 2002; Kolodner, 1993; Schank, 1982), el aprendizaje ubicuo (Hwang, Tsai y Yang, 2008; Jones y Jo, 2004; Ogata, 2009; Weiser, 1993), entre otros, hacen parte de ambientes de aprendizaje emergentes, orientados a la generación de espacios activos para una interacción constructivista dirigida a: aprender en situaciones específicas de contexto (Lave y Wenger, 1991); comprender las acciones y motivaciones de otros para actuar en consonancia, aprendiendo de esta simulación (Gallese, Keysers y Rizzolatti, 2004); aprender a resolver problemas auténticos a partir de la correlación entre diferentes campos de conocimiento con participación de la comunidad, con mediación de herramientas cognitivas y tecnológicas bajo influencia de normas sociales y el trabajo cooperativo con otros agentes sociales (van Eijck y Roth, 2007); aprender a solucionar problemas a partir de la integración de las habilidades de varios agentes humanos con el conocimiento derivado de fuentes externas (agentes artificiales, tecnologías digitales) (Hutchins, 1995); aprender a partir de los intereses y necesidades personales, adecuando el ambiente de aprendizaje a estos requerimientos (Jonassen, 2000); aprender a partir de la unificación de diferentes contextos (físicos y virtuales) configurados en ambientes de aprendizaje (Barron, 2006); aprender a partir del conocimiento experiencial basado en relatos (Jonassen y Hernández, 2002), y aprender a partir de la ubicuidad, integrando las fuentes de conocimiento, conectando los medios tecnológicos y compartiendo el conocimiento y los recursos de aprendizaje (Yang, 2006).

Los escenarios mencionados son la base del diseño de una variedad de ambientes de aprendizaje. El tratamiento de estas formas de aprendizaje, combinadas con tecnologías digitales, consolidan contextos particulares de aprendizaje en la medida en que sirven para modelar escenarios de aprendizaje adaptados al desarrollo de habilidades en la solución de problemas y la toma de decisiones (Jonassen, Howland, Moore y Marra, 2003). En el transcurso de

este capítulo se podrán ir dilucidando las interrelaciones de las diferentes corrientes con las tecnologías digitales para contextualizar los aspectos conceptuales que direccionen el desarrollo de ambientes de aprendizaje a partir de la incorporación de estas tecnologías. El origen de la discusión se enfoca a la formación de conocimiento del individuo que es la base para el desarrollo de las diferentes interacciones con el ambiente y los agentes sociales, lo cual determina la esencia del aprendizaje.

Esencia del conocimiento humano: formación de conocimiento y aprendizaje

La formación del conocimiento es un proceso dinámico que se construye a partir de la interacción de los seres humanos y el ambiente (Nonaka, Toyama y Nagata, 2000). La integración del conocimiento a la estructura cognitiva del individuo sucede con el proceso de aprendizaje. El estudio de las habilidades cognitivas implica la necesidad de representar el conocimiento, derivado de las acciones del individuo en el entorno y los procesos mentales que acompañan estas acciones (Sun, Zhang y Mathews, 2009). Desde la teoría de Anderson (1983) se distinguen dos tipos de conocimiento en el proceso de aprendizaje: declarativo y procedural. El primero se considera explícito y está relacionado con el conocimiento de hechos, eventos, objetos, personas, teorías, principios, ideas, conceptos, etc., que la gente puede acceder a través de la verbalización o descripción, y el segundo, implícito, se manifiesta a través de acciones, metas, situaciones y desempeños en una actividad, difícil de acceder de una manera explícita (Anderson, 1983, 1993; Ohlsson, 1996; Sun, 2016).

Chi y Ohlsson (2005) analizan los dos tipos de conocimiento en un marco de conocimiento complejo. Según Sun (2016), un individuo cuando nace no posee conocimiento explícito propio ni del mundo, pero sí posee canales sensoriales que activan su mecanismo

de percepción para comunicar su mente con el mundo externo. A medida que interactúa con el entorno, sucede el aprendizaje a través de ensayo y error. Las acciones que el sujeto realiza se traducen en conocimiento procedural explícito, mientras que el razonamiento que realiza sobre el ensayo-error se traduce en conocimiento procedural implícito. Los dos tipos de conocimiento activan los mecanismos de interacción con el mundo (Sun, 2016). A partir del conocimiento procedural y la información provista del entorno, surge el conocimiento declarativo; estos dos tipos de conocimiento le permiten al individuo desarrollar sus habilidades. Anderson (1993) plantea que el desarrollo de las habilidades comienza por la apropiación de conocimiento declarativo. En la medida en que el individuo experimenta en la realización de tareas, su desarrollo procedural se da sin el conocimiento declarativo. Según esto, un aprendiz antes de desarrollar su conocimiento implícito asimila información de fuentes externas a través de conceptos, reglas, hechos, ejemplos, etc. (conocimiento explícito), que comprende en el contexto en el que se origina, luego desarrolla conocimiento implícito a través de sus acciones prácticas con el entorno (Dreyfus y Dreyfus, 1986; Dreyfus, 2004; Sun, 2016). Conforme a Sun (2002), el conocimiento procedural y declarativo están separados por la forma de representarlos. Mientras que el conocimiento procedural se representa por reglas de acción encapsuladas en otras reglas, como una forma de mapeo de la situación y la acción; el conocimiento declarativo se evidencia a través de asociación de reglas. De acuerdo con el autor, cada forma de conocimiento está representada de forma implícita y explícita. Una representación implícita estaría formada de manera distribuida al utilizar redes neuronales, y la representación explícita se conformaría por redes simbólicas (redes semánticas) (Sun, 2002; Kirsh, 1990).

Sun *et al.* (2009) describen dos formas de interacción del conocimiento en el aprendizaje: *Top-Down* (de arriba hacia abajo) y *Bottom-Up* (de abajo hacia arriba). En el aprendizaje *Top-Down*, el individuo primero se apropia del conocimiento explícito para, luego, asimilar el conocimiento implícito a través de la experimentación.

Para el caso del aprendizaje *Bottom-Up*, el conocimiento es adquirido de manera implícita a través de la experimentación y el error. El conocimiento explícito se sustrae del conocimiento implícito que se ha logrado en esa práctica, en este caso se considera que el conocimiento explícito se extrae de las habilidades implícitas desarrolladas por el aprendiz (Sun, Merrill y Peterson, 2001). Para ejemplificar estos tipos de conocimiento se acude a la relación entre el estudiante y el profesor. Mientras que el profesor orienta sus clases a través de su conocimiento y experiencia, el estudiante asimila esta información de manera explícita; si el estudiante se enfrenta a resolver un problema, su base de conocimiento se transforma en la habilidad para solucionar esta situación (conocimiento implícito), la situación de aprendizaje dada es *Top-Down*. El caso opuesto sucede cuando una persona alcanza el desarrollo de ciertas habilidades cognitivas, pues se considera que está preparado para afrontar problemas y resolverlos. Este proceso le permite descubrir nuevo conocimiento (conocimiento explícito) que lo integra a su estructura cognitiva. A esto se le considera como aprendizaje *Bottom-Up*.

La representación de conocimiento en el proceso de aprendizaje del aprendiz sucede de dos formas: interna y externa (Demetriadis, 2004). Una representación interna se basa en la percepción y procesamiento cognitivo de estímulos de información, provenientes de representaciones externas con el fin de obtener constructos cognitivos internos. Una representación externa se refiere a la construcción explícita de conocimiento en códigos verbales (voz), simbólicos (textos y gráficas) y visuales (imágenes, videos), este tipo de representación se considera externo a los sistemas cognitivo y perceptual del individuo. La interacción de estas formas de representación evidencia la manera de procesar la información en el cerebro del aprendiz y la externalización a través de las diferentes formas de representación simbólica. El estudio de estas transformaciones es tarea de la ciencia cognitiva; uno de sus objetivos es la generación de modelos dispuestos en arquitecturas cognitivas que representan los procesos mentales de la cognición (Demetriadis, 2004). Estas configuraciones cognitivas establecen

diferentes patrones sobre el proceso cognitivo del individuo. La recepción de estos patrones por acción de agentes pedagógicos, establecen la base para la construcción de mecanismos de interacción (andamiajes), utilizados en la retroalimentación y orientación del aprendiz. El tratamiento de dichas configuraciones plantea una relación entre la ciencia cognitiva y la pedagogía, tema que será tratado en el siguiente espacio.

La ciencia cognitiva y su relación con la pedagogía

Previo a considerar la incorporación de las tecnologías digitales en la educación, habría necesidad de analizar, en el ser humano que se está formando, su estructura cognitiva, su forma de pensar y aprender, sus diferencias, su autonomía, sus gustos, su entorno físico y social, sus recursos, entre otros. En síntesis, sería importante revisar la forma como el aprendiz procesa la información, la forma de aprender, su relación con el entorno y las deficiencias que posee. En esta perspectiva, la interpretación del pensamiento de la persona y su relación con el entorno son la base de conocimiento con la que se puede proyectar cualquier estrategia o ambiente de aprendizaje que se adapte a sus diferencias individuales. Para estudiar estos procesos es necesario considerar la interacción de la ciencia cognitiva, la pedagogía y las tecnologías digitales. Esta interacción determinaría un espacio de transición para desarrollar el aprendizaje. La primera fase de transición reside en la identificación de la forma como el individuo procesa información, piensa y aprende. La obtención de esta representación se alcanza con el apoyo de técnicas de investigación, combinadas con tecnologías digitales, lo que determina la modelación del aprendiz. La segunda fase consiste en los recursos y formas de aprendizaje para la interacción del individuo con el conocimiento y el contexto; esto tiene en cuenta el diseño de estrategias pedagógicas, la incorporación de recursos digitales para la modelación de andamiajes,

la representación de conocimiento experto y la adecuación de recursos (Sanabria, Ibáñez y Valencia, 2015). La tercera fase es la consolidación del ambiente de aprendizaje sujeto a la integración y validación de todos los recursos físicos y sociales que se interceptan en el proceso de aprendizaje. La última fase es el desarrollo del aprendizaje a partir de la interacción del individuo en el ambiente de aprendizaje. Mientras que la ciencia cognitiva y la pedagogía intervienen la estructura cognitiva del individuo y su interacción social, las tecnologías digitales influyen apoyando todas las fases, primero para canalizar información y modelar los diferentes procesos, y segundo, para disponer medios para la interactividad y retroalimentación del proceso de aprendizaje.

La relación entre la pedagogía y la ciencia cognitiva establece las condiciones del ambiente de aprendizaje, la pedagogía centra su atención en el individuo y su proceso formativo, la ciencia cognitiva se ocupa de la manera como piensa y procesa la información que alimenta sus sentidos desde su entorno, lo que él conoce y la forma como lo conoce y lo apropia a su experiencia (Murphy, 1996). En otras palabras, la ciencia cognitiva estudia las estructuras del conocimiento humano y los procesos que operan en estos sistemas (Hutchins, 1995).

En el sentido neuropsicológico, la ciencia cognitiva recurre en primer lugar al conocimiento de las funciones del cerebro en la forma como adquiere y procesa la información derivada de las habilidades cognitivas, tarea que asume esta área de conocimiento. Según Simon (1980), la ciencia cognitiva surge a partir del “análisis de la mente humana en términos del proceso de información” (p. 34). Esta teoría permite inferir el estudio de las funciones del cerebro cuando un individuo procesa información, una de las actividades que caracterizan el proceso de aprendizaje. El estudio de las funciones del cerebro se adapta a un sistema inteligente en la medida en que actúan en la resolución de problemas en un ambiente cambiante (Simon, 1980). En el aprendizaje, este proceso de adaptación implica la acomodación de recursos y condiciones del ambiente a las necesidades educativas del individuo, papel que

le corresponde a la pedagogía. Las necesidades son cambiantes condicionadas por el avance en el desarrollo de sus habilidades de la persona; por tanto, se infiere que la adaptabilidad del sistema es dinámica y depende del tiempo y el estado del proceso de aprendizaje. Al observar la relación entre la pedagogía y el estado de los procesos cognitivos en el aprendizaje se infiere este vínculo como la conformación de un sistema inteligente que actúa de manera reciproca cuando se generan circunstancias cambiantes entre las acciones del individuo y la adaptación de los recursos de aprendizaje a estas condiciones. En este proceso retoman vital importancia las tecnologías de la información que se empiezan a utilizar como una herramienta para modelar cada hecho que sucede en el proceso de aprendizaje. Desde tal visión, el proceso de aprendizaje se subdivide en tres elementos: la acción del aprendiz, la acción pedagógica y la activación de los recursos del ambiente. A partir de estos componentes, la activación del aprendizaje se da con la interacción entre el aprendiz, los agentes pedagógicos y el ambiente (Murphy, 1996). Con la participación de la ciencia cognitiva, los procesos interactivos generados por estos agentes lograrán ser representados en arquitecturas cognitivas, constituyéndose en sistemas inteligentes. La configuración de estos sistemas, a través de la inteligencia artificial, conforman ambientes de aprendizaje inteligentes. A propósito de la incursión de la inteligencia artificial en la modelación de ambientes de aprendizaje, la ciencia cognitiva entra a ser parte del estudio del aprendizaje de habilidades cognitivas, ilustrando el modelamiento computacional de los agentes inmersos en una situación de aprendizaje, lo cual se considera como otra vertiente para el estudio de los procesos cognitivos. De otro lado, la pedagogía desempeña un rol importante a partir de la modelación de la actividad educativa con el vínculo de las tecnologías digitales. Establece un rol mediador entre el individuo y el ambiente de aprendizaje, lo cual llevaría al aprendiz a mejorar sus habilidades como condiciones de comportamiento en su entorno social.

En el sentido disciplinario, la pedagogía se aproxima a una ciencia de la educación (Radosavljevich, 2012). No obstante, la educación incluye el aprendizaje y su relación con el contexto y los agentes sociales. Teniendo en cuenta que el aprendizaje sucede como un hecho social en el que participan diferentes actores, la pedagogía constituye el puente del proceso interactivo entre estos agentes. Así, el proceso de aprendizaje no ocurriría sin la pedagogía. En este caso, la pedagogía estaría fundamentada en la interacción del estudiante con el profesor y el ambiente de aprendizaje, lo cual conformaría una asociación que genera una variedad de contextos de aprendizaje para atender las diferencias personales. En la interacción de los tres agentes surge la naturaleza del aprendizaje y el conocimiento del ser humano, determinado por el desarrollo de sus habilidades. Así, se reconocen tres elementos permeados por la pedagogía: las habilidades, el aprendizaje y la educación. Para estudiar estos elementos se ha requerido del concurso de las diferentes teorías provenientes de la psicología, la antropología, la fisiología, la sociología, la filosofía, el lenguaje, las ciencias sociales y comportamentales, cada una de estas áreas influye tanto en la pedagogía como en la ciencia cognitiva.

El aprendizaje y las tecnologías digitales

La pedagogía a través de los años se ha venido instituyendo en un eslabón importante de la educación. Debido a las teorías propuestas de diferentes corrientes se han generado formas diversas de interactuar con el estudiante. Cada teoría ha dejado su legado en los actuales modelos educativos. Partiendo de las teorías conductistas, el aprendizaje se ha dado en la relación del estímulo, la respuesta y el refuerzo (Skinner, 1954), para seguir a las teorías constructivistas, en las que el aprendiz construye su propio significado del conocimiento, convirtiéndose en el centro del aprendizaje (Hannafin y Land, 2000; Jonassen, 2000; Piaget

y García, 1991; Vygotsky, 1978), hasta la escuela cognitivista, en la que toma relevancia el procesamiento de información del individuo a partir de la interacción con el ambiente (Gagne, 1975; Newell y Simon, 1972). A partir del constructivismo se refleja el concepto del aprendizaje como un proceso social. El aprendizaje individual depende de la acción colectiva, representada en fuentes sociales como la participación y el testimonio de las personas; para su desarrollo a través del razonamiento y la acción, requiere del conocimiento de otras personas: pares, profesores y otros agentes sociales (Rabb, Fernbach y Sloman, 2019). Esta relación dispara nuevas propuestas teóricas como el aprendizaje situado (Anderson, Reder y Simon, 1996; Greeno, Smith y Moore, 1992; Lave y Wenger, 1991), el aprendizaje colaborativo (Dillenbourg, 1999), el conectivismo (Siemens, 2000), el aprendizaje ubicuo (Hwang, Tsai y Yang, 2008; Jones y Jo, 2004; Ogata, 2009; Weiser, 1993), los ambientes de solución de problemas centrados en el estudiante (Hmelo-Silver, 2004), los ambientes de aprendizaje abiertos (Hannafin, Land, y Oliver, 1999), la instrucción anclada (Bransford, Sherwood, Hasselbring, Kinzer y Williams, 1990), entre otros. Estas corrientes generan nuevos modelos de aprendizaje apoyados con medios tecnológicos.

Las tesis pedagógicas de las pasadas décadas y la incorporación de la tecnología en el modelamiento del proceso de aprendizaje marcan una gran diferencia en la forma como el ser humano desarrolla sus capacidades cognitivas. Sin embargo, el aporte que han dejado los teóricos de la educación a las nuevas propuestas educativas define un rumbo con la incorporación de las tecnologías digitales. Por ejemplo, los sistemas hipertextuales (Landow y Delany, 1991) tienen su origen en teorías conductistas, los sistemas adaptativos (Brusilovsky, 1999; Chieu, 2005; Paramythis y Loidl-Reisinger, 2004) se fundamentan en teorías socioculturales, los modelos ubicuos (Jones y Jo, 2004) se apoyan en aprendizajes situados, la solución de problemas a partir de los micromundos (Papert, 1984) se desarrollan en teorías constructivistas, los modelos distribuidos

(Hollan, Hutchins y Kirsh, 2000) se apoyan en el aprendizaje social, etc. Todos los modelos toman como un elemento principal del proceso de aprendizaje la actividad del profesor que se evidencia en las estrategias y métodos para orientar al estudiante; esto genera un puente interactivo entre las acciones del estudiante y la retroalimentación pedagógica ejercida por el docente. Al incluir las tecnologías digitales en el proceso de aprendizaje, esta relación se fortalece generando sistemas de retroalimentación con lo que se mantiene la interacción entre el estudiante y los agentes pedagógicos que se integran al proceso de aprendizaje (Maldonado, Ortega, Sanabria y Macías, 2001; Maldonado, Ortega, Sanabria, Ibáñez y Quintero, 2003). Aquí desempeña un rol importante la inteligencia artificial que potencia cada uno de estos modelos para convertirlos en ambientes de aprendizaje dotados de gran interactividad, en los que la pedagogía es sujeta de este modelamiento.

Al respecto es preciso mencionar el estudio de Sanabria, Valencia y Ibáñez (2017), quienes incluyen el diseño de andamiajes para el desarrollo de habilidades autorreguladoras, en los que la actividad del aprendiz vincula procesos metacognitivos de monitoreo y control y uso de estrategias para el aprendizaje de las matemáticas. Esta faceta de la pedagogía evidencia la acción del profesor y la interacción con artefactos, recursos y entornos auténticos de aprendizaje, configurados en la modelación de andamiajes, utilizados como sistemas que guían y provocan las interacciones de los estudiantes en el proceso de aprendizaje (Puntambekar y Kolodner, 2005). El proceso compromete la actividad del aprendiz en acciones de monitoreo y uso de estrategias (Hmelo-Silver y Barrows, 2006). Esta interacción genera un espacio para el modelamiento del aprendiz, asunto tratado a continuación.

Interacción del estudiante como objeto de modelamiento en el proceso de aprendizaje

Las teorías contemporáneas del aprendizaje enfocan su fundamento en el estudiante como el centro del proceso de aprendizaje. Según estas teorías, el aprendiz posee ciertas características a nivel de cualidades, motivaciones y potencialidades necesarias para disponer su propio ambiente de aprendizaje. Con esto se considera al estudiante como un agente activo que construye su conocimiento. En este proceso, el aprendiz debe reflexionar sobre lo que sabe y sobre las metas a alcanzar, es decir, debe aplicar estrategias metacognitivas (Murphy, 1996). El desarrollo de estas habilidades requiere del concurso de varios agentes pedagógicos conformando un contexto social de participación en el proceso de aprendizaje. La participación de los agentes se evidencia en el análisis de la cognición de cada uno y la manera como intervienen en la interacción (Anderson, Reder y Simon, 1996). Una forma de interacción del estudiante con los agentes se construye a partir de elementos comunicativos derivados del lenguaje que establece una estrecha relación con el medio social. Precisamente, las teorías constructivista y sociocultural consideran la interacción social como un elemento fundamental en el desarrollo del aprendizaje. Por ejemplo, Vygotsky plantea *el aprendizaje como un proceso social*, en el que interviene el lenguaje como un medio para comunicar el mundo interno del aprendiz con los agentes externos dispuestos en el ambiente de aprendizaje. La interacción que se establece entre los dos mundos permite al individuo avanzar en el desarrollo de sus habilidades. La teoría sociocultural de Vygotsky considera la interacción social como una variable fundamental en el desarrollo del aprendizaje. Bajo esta premisa, la relación entre el estudiante y el profesor, y con otros agentes del proceso de aprendizaje, toma relevancia en un contexto armónico, en el que el desarrollo cognitivo del individuo estaría supeditado a esta interacción.

De acuerdo con la teoría vygotskyana, la incorporación del conocimiento aprendido en la estructura cognitiva del individuo depende de la interacción con otros y su capacidad para asimilarlo. El aprendizaje está limitado a sus conocimientos previos, sus motivaciones y su habilidad para desarrollarlo. Aquí el rol del profesor funciona en paralelo con el desarrollo del aprendizaje del estudiante, en principio, monitorizando los logros del estudiante hasta que este se encuentre con dificultades y, luego, orientándolo para seguir avanzando hasta alcanzar sus metas. Según la teoría de Vygotsky, el estudiante en su proceso de aprendizaje llegaría hasta una *zona de desarrollo próximo* que limitaría su capacidad para seguir aprendiendo. Para pasar este límite y completar su proceso de aprendizaje requeriría de ayuda e interacción con otros agentes sociales (Vygotsky, 1978). En este caso, el profesor u otros agentes pedagógicos dispondrían de andamiajes para facilitar al estudiante el camino que lo conduzca a superar su meta de aprendizaje (Briner, 1999). Wood, Bruner y Ross (1976) consideran un andamiaje como el apoyo que habilita al estudiante a avanzar en su proceso de aprendizaje más allá de sus propios esfuerzos. Esta noción potencia la acción del profesor como un agente pedagógico que orienta y apoya el proceso de aprendizaje, para ello se requiere el desarrollo de estrategias que interpreten el pensamiento del estudiante y, basado en esto, estructure sistemas de retroalimentación que avancen el proceso de aprendizaje.

La interacción entre el profesor y el estudiante implica la integración a un contexto de la realidad. En esta relación, la función del profesor consiste en configurar andamiajes para mostrarle al estudiante contextos auténticos que le ayuden a aprender de la realidad, a esto se le denomina aprendizaje situado (Brown, Collins, y Duguid, 1989; Freire, 1985; Greeno, 1998; Lave y Wenger, 1991). El aprendizaje situado procede en un contexto en que el aprendiz interactúa con los recursos físicos, informacionales y conceptuales del entorno donde sucede la situación de aprendizaje (Anderson, Reder y Simon, 1996; Greeno, 1998; Lave y Wenger, 1991). Esta concepción amplía el horizonte del ambiente de aprendizaje e incluye

un mayor número de agentes e interacciones entre ellos. De la misma forma, genera un potencial uso de las tecnologías digitales.

En el contexto del aprendizaje situado, la interacción del estudiante en el ambiente de aprendizaje consiste en evidenciar el contenido de aprendizaje auténtico y la forma como lo aprende y aplica en el entorno donde sucede esta situación, para ello necesita dirigir sus acciones a la situación específica de aprendizaje. De la misma forma, tal como lo mencionamos anteriormente, el profesor estaría funcionalmente monitorizando las acciones del estudiante con el fin de reconocer falencias que le permitan diseñar estrategias pedagógicas para encaminar al estudiante a la apropiación del conocimiento específico de la tarea. Para establecer estas relaciones se hace necesario identificar las características del estudiante cuando está inmerso en una situación de aprendizaje, la forma de conocer estos rasgos se da a través del proceso de modelamiento. Según esto, el modelamiento del estudiante consiste en la representación actualizada de la forma como comprende y actúa en su ambiente de aprendizaje (Lajoie y Derry, 1993); esto hace suponer que los procesos de pensamiento del estudiante son objeto de modelamiento. En términos generales, el modelamiento del aprendiz se daría en el momento en que está inmerso en una acción de su proceso de aprendizaje. La interacción que ocurre entre el comportamiento del sujeto y la disposición del ambiente de aprendizaje, determinan la retroalimentación dada por este sistema al aprendiz.

Akhras y Self (2000) definen la interacción como la *“ocurrencia de un evento por acción de un agente en una situación”* (p. 10). Este concepto lleva a suponer que mientras no exista una acción del aprendiz, no se establece una interacción con su proceso de aprendizaje. Las acciones del aprendiz pueden ser de tipo fisiológico, comportamental o motivacional. Al considerar el proceso de aprendizaje como un sistema interactivo, en el que participan el estudiante, los agentes pedagógicos y los recursos del ambiente, se puede inferir que el comportamiento del sistema a través de la interactividad de sus miembros actúa como un sistema inteligente en la medida

que configura diferentes modelos para disponerlos conforme a los requerimientos de una situación de aprendizaje. Si comparamos los tutores inteligentes clásicos con estos sistemas inteligentes, existen algunas similitudes estructurales en lo que tiene que ver con los modelos que lo componen, pero se diferencian en los tipos de contextos en los que se tratan estos modelamientos. Por ejemplo, en un sistema inteligente, el modelamiento del dominio de conocimiento se adecua a los procesos interactivos de las acciones del estudiante, que determinan la configuración de conocimiento que se requiere para una situación de aprendizaje propuesta en ese proceso interactivo. Según Akhras y Self (2000), este modelo se focaliza en la configuración de las situaciones de aprendizaje (contienen algunos aspectos del dominio de conocimiento), de los contextos y de las interacciones. Respecto al modelamiento del estudiante, este sistema representa al aprendiz a través de sus acciones, creencias y rasgos motivacionales, evidentes en la situación de aprendizaje (Sugrue, 2000). Akhras y Self (2000) describen este modelo a partir de las acciones del aprendiz, el contexto donde suceden estos hechos y el conocimiento que posee el aprendiz en ese instante. El modelo pedagógico está relacionado con la dinámica de los agentes en las interacciones entre el aprendiz y las situaciones configuradas en el ambiente de aprendizaje. Estos agentes pedagógicos funcionarían en dos niveles: como experto y como profesor. Akhras *et. al* (2000) definen este modelo a partir de las interacciones del aprendiz y el ambiente, donde se proveen espacios eficaces, basados en una representación asequible a una situación de aprendizaje potencial, es decir, que sea significativa para el aprendiz. Una instancia de esta situación de aprendizaje se da en espacios que propongan problemas auténticos en contextos reales. En síntesis, se trata de conceptualizar las interacciones de los agentes que participan en la consecución de una tarea para llegar a modelar diversos escenarios de aprendizaje mediados por entornos computacionales e inteligencia artificial, en los que las acciones del aprendiz se reflejen en entornos reales de aprendizaje, tema que será tratado en el siguiente aparte.

Contextualización de las teorías de aprendizaje para la modelación de ambientes de aprendizaje mediados por tecnologías digitales

Para empezar a tratar el asunto de los ambientes de aprendizaje nos apoyamos en los modelos constructivistas que centran la atención en el estudiante como constructor de aprendizaje significativo. Desde este punto de vista cobran relevancia diferentes modelos de escenarios de aprendizaje que se enfocan en el estudiante como el principal protagonista del proceso de aprendizaje. Según Hannafin y Land (2000), un ambiente de aprendizaje centrado en el estudiante estaría caracterizado por lo siguiente: 1) considerar al estudiante como el centro del proceso de aprendizaje, pues es quien decide basado en sus creencias y necesidades; 2) las tareas de aprendizaje deben estar dirigidas a situaciones auténticas con participación de pares y otras relaciones sociales y culturales —en este escenario, el aprendizaje situado se ubica en contextos relacionados con la solución de problemas auténticos—; 3) la relevancia en las experiencias y conocimientos adquiridos previamente por los aprendices son importantes para que los profesores planeen estrategias y andamiajes con el fin de retroalimentar a los estudiantes en la comprensión del conocimiento y ellos puedan aplicarlo y transferirlo a nuevas situaciones de aprendizaje; y 4) el enriquecimiento del ambiente a partir de una variedad de enfoques, recursos y representaciones. Esta variedad alimenta las interacciones del profesor, el estudiante y el ambiente junto a otros agentes externos y sirven de fundamento para estructurar modelos con apoyo de diferentes medios como la tecnología digital, constituyéndose en andamiajes para que los aprendices evalúen y negocien de varias fuentes de conocimiento.

A partir de las características de los contextos de aprendizaje centrados en el estudiante se puede definir un ambiente de aprendizaje como un escenario en el que interactúan los diferentes

actores y recursos del proceso educativo con el objeto de mejorar las habilidades cognitivas del aprendiz. Los elementos que lo componen estarían dispuestos de manera sincrónica para apoyar el aprendizaje. De esta forma se combina la interacción de los diferentes agentes participantes en una tarea de aprendizaje. Cada agente cumple un rol que depende de las necesidades de aprendizaje. Un aprendiz en su proceso de aprendizaje manifiesta una serie de necesidades que se convierten en la fuente de conocimiento para que otros agentes, como el profesor, puedan interactuar a partir de los recursos dispuestos, en procura de diseñar estrategias que orienten y ayuden a mejorar el desarrollo de habilidades del educando.

Desde este marco conceptual y apoyados en los recursos digitales se propone una aproximación que define un ambiente de aprendizaje inteligente. Este consistiría en la interacción de varios modelos que comienzan por la representación del conocimiento dispuesto en dos formas: procedural y declarativo (Anderson, 1993), en los que ya se da una interacción del modelo del aprendiz con el dominio de conocimiento. Un segundo elemento es el modelo del aprendiz representado en el conocimiento que este dispone, las necesidades que evidencia, su nivel de motivación, sus estilos cognitivos, las preferencias y los avances alcanzados en relación con sus metas propuestas (Martínez, Sanabria y López, 2016), y un tercer elemento se relaciona con el agente pedagógico que actúa como experto y orientador de la situación de aprendizaje (Maldonado *et al.*, 2001). La función de experto facilitaría la adecuación del conocimiento que requiere el aprendiz en su proceso de aprendizaje y, como orientador, estaría facultado para identificar las necesidades y falencias del aprendiz con el fin de acomodar algún tipo de estrategia pedagógica personalizada que retroalimente a cada individuo (Akhras *et al.* 2000; Lajoie y Derry, 1993; Shute y Psotka, 1996; Shute, Torreano y Willis, 2000;). Esto lleva a considerar un tipo de ambiente de aprendizaje adaptado a las condiciones del aprendiz relacionadas con sus conocimientos previos, sus motivaciones, sus experiencias, sus capacidades tanto físicas como mentales, entre otras. Paramythis y Loidl-Reisinger (2004) definen este tipo de entorno como un sistema que tiene la capacidad de monitorizar

las acciones del estudiante, interpretándolas sobre la base de dominios específicos e inferir sus necesidades y preferencias para ser representadas en modelos que se utilicen para actuar sobre el aprendiz, facilitando su aprendizaje.

El ser humano posee un modelo mental de su aprendizaje previo. A partir de nuevas experiencias de aprendizaje busca experimentar y reconfigurar su estructura cognitiva para adaptarse a estas nuevas situaciones que lo llevan a aprender (Piaget, 1976; Seel, 1991). El proceso de adaptación transforma el sistema cognitivo del individuo, lo cual revela la plasticidad de su cerebro. La adaptación se dispone como un proceso de negociación entre las creencias del aprendiz y la posición de la nueva situación de aprendizaje con lo que se transforma su modelo mental. Un modelo mental se consideraría como una representación propia de las interacciones dadas en una situación del mundo, este describe un marco ontológico que relaciona conocimiento declarativo y procedural (Anderson, 1993; Land y Jonassen, 2012). Existe una afinidad entre un modelo mental y un modelo cognitivo en el sentido de poder predecir el comportamiento y desempeño de los seres humanos en un contexto de aprendizaje. Estos modelos provén información acerca de las habilidades que desarrolla un aprendiz en su proceso de aprendizaje (Chaplot, MacLellan, Salakhutdinov y Koedinger, 2018).

Las situaciones del mundo se convierten en situaciones de aprendizaje que buscan adaptarse a la estructura cognitiva del individuo; estas situaciones son representadas a través de un ambiente de aprendizaje. Se pensaría que el modelamiento del aprendiz comienza en una actividad o situación de aprendizaje en un contexto natural o en un contexto virtual. El primer ambiente de aprendizaje estaría formado a partir de la interacción con la situación de aprendizaje. En esta actividad se evidenciarían características comportamentales del individuo, recaudadas para mejorar y modificar las condiciones iniciales del ambiente. El resultado se constituiría en un nuevo escenario de aprendizaje rico semánticamente, con recursos y estrategias pedagógicas novedosas que mejoran y amplían las condiciones iniciales del entorno donde el estudiante desarrolla su aprendizaje. Una instancia de estos entornos son los ambientes de aprendizaje inteligente, que

se consideran sistemas adaptativos, en los que el conocimiento previo del aprendiz es interpretado como su modelo mental de la situación de aprendizaje. Este modelo puede ser incompleto o en muchos casos equivocado.

La interacción del agente pedagógico consiste en representarse el aprendiz basado en el conocimiento de su modelo mental, con el fin de proponer un escenario nuevo de conocimiento que lo ayude a reflexionar para cambiar su representación de la situación de aprendizaje. Este cambio se traduce en ganancia de conocimiento, lo que le permitiría al aprendiz completar sus conocimientos previos o cambiar su modelo mental. Las transformaciones debidas a estos cambios reconstruyen los procesos cognitivos del aprendiz, convirtiéndolos en avances de su aprendizaje. La reflexión del aprendiz implica tener habilidades metacognitivas para autorregular su aprendizaje; en este caso, el papel del agente pedagógico es disponer de andamiajes para que el estudiante pueda desarrollar estas habilidades (López, Sanabria y Buitrago, 2018). Por tanto, el agente pedagógico tendría tres funciones: modelar al aprendiz, disponer todos los recursos para presentar espacios nuevos de la situación de aprendizaje y construir andamiajes para facilitar la reflexión del aprendiz. De otra forma, la función del agente pedagógico consiste en preparar el mecanismo de retroalimentación para que el aprendiz pueda avanzar en su proceso de aprendizaje. Este sistema deberá ser de tipo estratégico para orientar, aconsejar, cuestionar, entre otros, al estudiante. Su regulación podrá depender de los avances en los logros de aprendizaje. La información de este tipo de andamiajes se refleja a través de mensajes de tipo cognitivo, estratégico y metacognitivo (Berthold, Nückles y Renkl, 2007; Kauffman, Ge, Xie y Chen, 2008; Martínez, *et al.*, 2016).

A partir de las corrientes que han emergido con el uso de las tecnologías digitales, se conciben ambientes de aprendizaje que vinculan diferentes posiciones teóricas para el desarrollo del aprendizaje. Empecemos mencionando dos corrientes pedagógicas que coinciden en algunos conceptos para delinear propuestas de estos escenarios: el aprendizaje situado (Brown, Collins, y Duguid, 1989; Greeno, 1998; Lave y Wenger, 1991) y la cognición social (Gallese, Keysers y Rizzolatti, 2004). El *aprendizaje situado* enfatiza

en una situación en la que se da el aprendizaje de manera específica al espacio donde ocurre, hecho que obliga a aprender de contextos auténticos donde hay participación de otros agentes sociales. Esta participación establece un puente comunicativo para intercambio de información proveniente de la experiencia de otros individuos que poseen el conocimiento. Este aspecto es considerado por la *cognición social* (Bandura, 1986; Gallese, Keysers y Rizzolatti, 2004; Smith y Semin, 2007), en la que los seres humanos razonan a partir del pensamiento de otros para comprender y actuar sobre lo que ellos hacen; es decir, simulan eventos producto del comportamiento de otros, acción que les permite aprender del pensamiento de otros. Lave y Wenger (1991) muestran un contexto donde se da este tipo de comportamiento, ellos lo denominan *participación periférica legítima*, en la que una comunidad de práctica posee el conocimiento y el aprendiz, a medida que se involucra en la comunidad para comprender el pensamiento de la comunidad, adquiere conocimientos para seguir escalando, hasta llegar a ser parte de la comunidad de práctica.

Al observar estas teorías en el escenario de las tecnologías digitales se pueden ubicar dos instancias de aprendizaje: el aprendizaje ubicuo (Hwang, Tsai y Yang, 2008; Jones y Jo, 2004; Ogata, 2009; Weiser, 1993) y la instrucción anclada. El aprendizaje ubicuo es considerado como un modelo que integra diferentes aspectos de estas corrientes con el aprendizaje adaptativo. Su conformación implica el desarrollo del aprendizaje en contextos auténticos, la interacción de los estudiantes con todos los agentes que acompañan el proceso de aprendizaje, la interacción con todos los ambientes donde sucede el aprendizaje y la interacción con los recursos y medios tecnológicos necesarios para su realización. En un ambiente de aprendizaje ubicuo el estudiante está inmerso completamente en su proceso de aprendizaje, su conformación se adapta a las necesidades, estilos y requerimientos del aprendiz; para ello cuenta con todos los recursos tecnológicos para realizar sus experiencias de aprendizaje en diferentes contextos como: redes de comunicación, teléfonos móviles, computadores, tabletas, instrumentos para sensor información de localización, temperatura, detección de

objetos, etc. (Jones y Jo, 2004). Según Ogata y Yano (2004), este tipo de ambientes se caracteriza por generar espacios de interactividad con otros agentes del proceso de aprendizaje (profesores, compañeros, expertos, etc.), generar inmediatez en la medida en que los estudiantes tienen acceso rápido a la información, accesibilidad para disponer de todos los recursos (libros, videos, documentos, bases de datos, etc.), registro y permanencia de sus procesos de aprendizaje y disposición de actividades auténticas.

Otra de las teorías relacionadas con el aprendizaje situado es la instrucción anclada, cuyo foco de acción son los recursos visuales digitales interactivos que involucran conocimientos profundos orientados a la solución de problemas para ser explorados por los estudiantes (CTGV, 1990). Estos medios son denominados *anclajes*, considerados como la base principal para el diseño de actividades de aprendizaje. Están compuestos por contextos realistas de situaciones de aprendizaje, dispuestos en historias o aventuras que incluyen conceptos para solucionar problemas auténticos (reales); esto permite a los aprendices identificar y solucionar los problemas, cuestionarse a partir de examinar los objetivos y las conexiones causales del contenido dispuesto en el video, y la autenticidad de los hechos del filme. El profesor puede utilizar el anclaje para profundizar sobre el tema e introducir otros tópicos relacionados con el tema en la discusión para una mejor comprensión de sus estudiantes (Bransford, Sherwood, Hasselbring, Kinzer y Williams, 1990). Un ambiente de aprendizaje que aplica esta teoría consistiría en la discusión de un tema utilizando una película dispuesta en la web. La interacción del estudiante se vería reflejada en la identificación de las acciones de los personajes y hechos relevantes sucedidos en el filme y su implicación en la solución de algún problema real relacionado con su aprendizaje. Esto llevaría al aprendiz a interactuar con sus pares en un trabajo colaborativo, utilizando canales de comunicación de la web (chat, redes sociales). En este caso, el profesor y el estudiante estarían inmersos en la actividad de aprendizaje; ambos aprenderían y aportarían ideas y soluciones a partir de las preguntas que surjan en la discusión del tema tratado, la evaluación del aprendizaje respondería al logro en la solución del problema (Chen, Peng y Zhang, 2010).

Una teoría cognitiva relacionada con la ubicuidad y la interacción entre el computador y los seres humanos es la *cognición distribuida*. Una característica de esta escuela es el cooperativismo entre agentes que se coordinan para resolver problemas a través de la distribución de los procesos cognitivos correspondiente a cada uno de los agentes, ya sean naturales o artificiales; es decir, cada agente posee su propio conocimiento que aporta a la solución de problemas específicos. El principal objetivo de la cognición distribuida es comprender las interacciones de los individuos con los medios digitales, lo que quiere decir que existe una interacción entre los procesos cognitivos internos de la mente y los procesos externos de los artefactos digitales, lo cual consolida una interacción entre el ser humano y la máquina (Hutchins, 1995; Hollan, Hutchins y Kirsh, 2000). Una interpretación de esta teoría en el aprendizaje hace suponer que la interacción de los agentes pedagógicos se construye como una integración de conocimientos generados por los agentes artificiales y naturales que se apropian del conocimiento propio, el conocimiento del dominio, el conocimiento de las acciones cognitivas y comportamentales del aprendiz derivado de experiencias previas y el conocimiento sustraído del ambiente con el objeto de configurar el sistema de retroalimentación en el proceso de aprendizaje. Con el uso de las tecnologías digitales en los ambientes de aprendizaje, el proceso de retroalimentación se alimenta del modelo del aprendiz, el modelo pedagógico, los recursos de aprendizaje y el conocimiento del ambiente, con lo cual se establecen los canales de interacción entre el individuo y el computador, mediados por sistemas como los andamiajes.

Otra tesis del aprendizaje es la *teoría de la actividad*, fundamentada en el principio de la mediación con herramientas mentales (habilidades cognitivas) e instrumentales (computadores, teléfonos móviles, redes sociales, internet, libros, etc.) y el cambio del comportamiento del individuo a través de las interacciones sociales y culturales (Engestrom, 1993; Plakitsi, 2013; Roth, 2004). Las herramientas cumplen la función de transformar el objeto considerado como el espacio del problema a resolver para obtener resultados satisfactorios o insatisfactorios. En este proceso, el individuo ejerce control sobre su comportamiento, recurriendo

al uso y creación de dispositivos. En esta perspectiva, un sistema de una *actividad* estaría compuesto por los sujetos, el objeto, las herramientas, las normas, la comunidad, la división de labores y los resultados. Los sujetos son las personas o grupos que participan con sus puntos de vista. El objeto se refiere a la fijación de metas hacia las que se dirige la actividad o el espacio del problema transformado por acción de la interacción entre los individuos y las herramientas para alcanzar los resultados. La interacción de la persona o grupo participante está mediada por los instrumentos. En este proceso intervienen las normas que actúan como sistemas de regulación de las actuaciones de los individuos. La comunidad hace parte de agentes externos que cooperan con los mismos intereses y la distribución de responsabilidades se relaciona con la repartición de tareas para alcanzar las metas (Engestrom, 1993; Plakitsi, 2013; Roth, 2004). Si se pone en contexto esta teoría en los ambientes de aprendizaje, el sistema se interpreta como un espacio donde el estudiante fija sus propias metas, formula sus actividades de aprendizaje, selecciona sus recursos de aprendizaje, determina las acciones que debe realizar cada agente que participa en el proceso de aprendizaje, y define las estrategias y reglas que regulan las interrelaciones dadas en el proceso de aprendizaje con los participantes (profesores, expertos, compañeros, entre otros agentes pedagógicos) y las condiciones del entorno (Sanabria *et al.*, 2017; van Eijck y Roth, 2007).

Los ecosistemas de aprendizaje están relacionados con la teoría de la actividad, en la medida en que conforman una red asequible cognitiva y perceptualmente, creada intencionalmente por personas que participan para el logro de metas; su funcionamiento depende de la integración de hechos, conocimiento, instrumentos, prácticas y compromisos de la gente (Barab y Roth, 2006). Barron (2006) define esta ecología de aprendizaje como la abstracción de un conjunto de contextos provenientes de espacios virtuales o físicos, utilizados en la generación de situaciones para el desarrollo del aprendizaje. Cada entorno conforma un sistema unificado de actividades y recursos con sus respectivas relaciones e interacciones. La interpretación del concepto se instancia en la construcción de un ambiente de aprendizaje a partir de una analogía con el

ecosistema natural, donde existen elementos bióticos y abióticos interrelacionados y condicionados a límites específicos del ambiente donde coexisten. En este sentido, Chang y Guetl (2007) definen un ecosistema de aprendizaje como un sistema donde participa una comunidad educativa comprometida en un proceso completo de aprendizaje que integra los recursos y el ambiente de aprendizaje dentro de límites específicos extendidos en un tiempo y espacio específico. Este concepto extrapola el ecosistema de aprendizaje y define los elementos bióticos como los agentes vivos que hacen parte de la comunidad de aprendizaje (profesores, pares, diseñadores instruccionales, expertos pedagógicos, psicólogos, etc), Los elementos abióticos son los recursos y medios de aprendizaje (contenidos y modelos pedagógicos, las tecnologías digitales y otros artefactos). Los límites del sistema están condicionados por los eventos externos que influyen en el proceso de aprendizaje como la evolución del conocimiento y las tecnologías, los objetivos y actividades de aprendizaje, el desarrollo cultural y los requerimientos del contexto social, las relaciones organizacionales gubernamentales y privadas (Chang y Guetl, 2007).

El panorama presentado es una contextualización de algunos modelos de aprendizaje derivados de las teorías educativas. En este sentido, establecen un marco conceptual para definir características útiles en el diseño de escenarios de aprendizaje que incorporan tecnologías digitales. La combinación de diferentes componentes sustraídos de estas teorías fundamentan el diseño de propuestas pedagógicas actualizadas a las nuevas realidades educativas.

Síntesis del capítulo

Basados en las diferentes teorías del aprendizaje, este capítulo muestra los conceptos fundamentales que rodean el diseño de un ambiente de aprendizaje ideal, en el que se reconocen las características del estudiante, que van desde la forma de representación de conocimiento hasta la modelación de sus acciones comportamentales y que sirven de fundamento para adaptar todas las interacciones dadas en el proceso de aprendizaje por los agentes pedagógicos, el

ambiente y los recursos. Este referente es el punto de partida para empezar a diseñar ambientes de aprendizaje. De la misma forma, es un acercamiento sobre el futuro de los ambientes de aprendizaje apoyados en computador, en los que los componentes interactivos necesitan incorporar agentes inteligentes que modelen las acciones de la pedagogía.

El avance en el diseño de estos escenarios toma diferentes teorías sobre la formación del conocimiento y la modelación del proceso de aprendizaje para orientar al lector en la elaboración de ambientes que posean algún tipo de inteligencia. Con esto no se busca diseñar tutores inteligentes; aquí interesa empezar a mirar las verdaderas necesidades y motivaciones del estudiante para conocer su estado anímico y cognitivo, con lo que se pueda planear y disponer los recursos que apunten a estas condiciones en función de encontrar mejores logros académicos. Esto no se logra sin la ayuda de las tecnologías digitales, útiles en el modelamiento de las características del estudiante, los modelos de agentes pedagógicos y los recursos del ambiente de aprendizaje. La conexión de estos componentes posibilitaría verdaderos mecanismos de interacción para que el estudiante pueda actuar de manera autónoma y logre avances en su aprendizaje. En un capítulo posterior se presentarán algunos ejemplos de prototipos que se han desarrollado en la investigación llevada a cabo por el grupo Cognitek. Se prevé que estos modelos ayuden a orientar la construcción de propuestas pedagógicas que incorporen la tecnología en los ambientes de aprendizaje.

Capítulo 2

Procesos cognitivos en el aprendizaje

Las investigaciones desarrolladas sobre el cerebro y la inteligencia plantean una variedad de procesos cognitivos descritos por la interacción de un conjunto de procesos mentales (Wang, Wang, Patel y Patel, 2006). Estos están relacionados con un proceso cognitivo superior: el aprendizaje. Wang *et al.* (2006) presentan un modelo de referencia de la mente y el cerebro denominado *Layered Reference Model of the Brain (LRMB)*, en el que se evidencian los procesos cognitivos conscientes y subconscientes que conforman las funciones de la vida. Según Wang y Wang (2006), los procesos cognitivos conscientes son aquellos que se pueden adquirir, transformar (plasticidad cerebral) y controlar de manera premeditada por acción de la motivación, las metas y la receptividad, mientras que los procesos cognitivos subconscientes nacen con la persona, son genéticos, fijos y con algún grado de madurez, son controlados de manera directa, no son accesibles de manera consciente. Como se puede inferir, el aprendizaje es un proceso cognitivo consciente asociado con otros procesos cognitivos para reconfigurar la memoria de largo plazo, es decir, es el mecanismo más importante que influye en la plasticidad del cerebro.

En términos genéricos, el funcionamiento del cerebro durante el proceso de aprendizaje actúa bajo cuatro características: el sentido¹ de información, el almacenamiento provisional de información, la retención de información y conocimiento y la ejecución de acciones, habilidades y comportamientos en el mundo externo (Wang y Wang, 2006). El sentido de información depende de la capacidad de los órganos sensoriales (visión, tacto, olfato, gusto y audición) para rastrear y adquirir la información del entorno. La acomodación temporal de tramas de pensamiento formados por grupos de relaciones y atributos de objetos es un proceso interno que depende de la memoria de corto plazo o memoria de trabajo. El almacenamiento de información y conocimiento en forma de hechos, habilidades y comportamientos es tarea de la memoria de largo plazo. Finalmente, la ejecución de acciones o manifestación de habilidades y comportamientos es un trabajo que externaliza la función de la memoria de largo plazo. La transferencia de información desde la entrada al cerebro por acción de los órganos sensoriales hasta la salida, develada en acciones, comportamientos y habilidades forman el mecanismo para producir el aprendizaje que se almacena en la memoria de largo plazo. En esta transferencia actúan diferentes procesos cognitivos. Este capítulo examina algunos procesos relevantes en la construcción del aprendizaje, como la percepción, la memoria, la comprensión, el razonamiento, la toma de decisiones y la solución de problemas; todos incluyen otros procesos cognitivos comprometidos en su sistema funcional. Cada proceso influye en la manera como el ser humano transforma la información en sistemas cognitivos de su cerebro, convirtiéndola en habilidades dispuestas para la ejecución de acciones que cubren sus necesidades y resuelven sus problemas, con el objetivo de sobrevivir en el mundo.

1 El término *sensado* es derivado de la palabra *sensor*. Según el DRAE la palabra *sensor* está relacionada con sentir que indica experimentar sensaciones producidas por causas externas o internas. En este contexto está relacionada con un dispositivo que detecta información de una determinada acción externa, temperatura, presión, etc., para traducirla en datos analizables.

Percepción y aprendizaje

Toda actividad de aprendizaje implica procesamiento de información. Wang (2007) conceptúa el aprendizaje como un proceso cognitivo de adquisición de conocimiento y generación de comportamiento con el aporte de la inteligencia. El aprendizaje se considera como un proceso cognitivo de alto nivel (Wang, Wang, Patel y Patel, 2006), en el que el ser humano requiere desarrollar habilidades para alcanzar la experticia en diferentes dominios y aumentar su capacidad de procesamiento de información. Para lograrlo necesita disponer de mecanismos neurofisiológicos de alto nivel que potencien estas capacidades. Uno de ellos es la percepción, consistente en un sistema que traduce, a través de mecanismos sensoriales, las señales externas del ambiente en señales cognitivas internas por medio de procesos de razonamiento. Según Wang *et al.* (2006), la percepción es un proceso cognitivo subconsciente del cerebro; su función es detectar información cognitiva recepcionada por los sentidos, relacionarla e interpretarla para disponerla al proceso de acción. La percepción compromete otros procesos cognitivos como la autoconsciencia, la motivación, las actitudes, las emociones, el sentido espacial, el sentido del movimiento, el sentido del equilibrio y la atención. Los autores describen la función de cada uno de estos procesos en la percepción (Wang *et al.*, 2006). Para ellos, la *autoconsciencia* estabiliza el estado mental de los individuos; la *motivación* es un proceso que armoniza y coordina el sentido, la potencia y la estructura del comportamiento, evidente en una meta deseada; la *actitud* es una facultad deliberada, consciente y voluntaria en la selección de una acción; las *emociones* interpretan los sentimientos de las personas sobre estímulos externos como el placer, la felicidad, etc.; el *sentido espacial* advierte al cerebro sobre la ubicación de elementos en el espacio a través del movimiento del individuo, construyendo un mapa interno del espacio; el *sentido de movimiento* detecta e interpreta los cambios de posición de los objetos y el individuo en el entorno; el *sentido del equilibrio* detecta

la gravitación y la posición relativa del cuerpo en relación con la superficie del entorno. Finalmente, consideran la *atención* como un proceso fundamental que centraliza la percepción de estímulos externos, las motivaciones internas y los hilos de pensamiento mediante concentración selectiva asociada a respuestas apropiadas (Wang *et al.*, 2006). En un estudio desarrollado con personas invidentes, se utilizó un dispositivo mecatrónico para investigar acerca de la atención en el proceso de anticipación perceptiva. Los resultados mostraron que la atención exige un proceso de selección de información que depende de la integración de eventos perceptuales y la experiencia sensorial (Sanabria, 2015). La afinación de la atención mejora la anticipación perceptiva en la movilidad de las personas (p. ej., conducción de los vehículos).

Llinás (2003) comprende la percepción como un sistema de validación de imágenes sensomotoras generadas por información sensorial proveniente del mundo externo, procesada en tiempo real. La percepción está asociada en muchos contextos con experiencias visuales, pero realmente la percepción tiene que ver con el manejo de información de todos los órganos sensoriales. Al respecto, Shams y Seitz (2008) definen la percepción en el desempeño de una variedad de tareas que requieren estimulación proveniente de múltiples sensores. Los sensores visuales son los responsables de la mayoría de información y estímulos externos que ingresan al cerebro (Wang, 2003; Wang, 2013a; Wang, Patel y Patel, 2013). Con la incorporación de las tecnologías digitales en la educación, las pantallas de computadores, los teléfonos celulares, las tabletas, entre otros, se convierten en los mayores dispensadores de información de los canales visuales que alimentan el sistema perceptual del cerebro. Esta canalización de información se enriquece con una variedad de recursos como imágenes, texto, video, gráficas, etc. En este caso se distingue la información visual como el mayor recurso que alimenta el proceso de aprendizaje.

De acuerdo con Llinás (2003), la percepción es la base de la predicción, siendo esta el centro de la función cerebral. La predicción es el mecanismo fundamental de la activación de habilidades y la

manifestación de la experiencia del individuo. La relación entre la percepción y el aprendizaje determina el desarrollo de la experticia. La experticia está determinada por los conocimientos que tienen los seres humanos y su capacidad para utilizarlos en la solución de problemas. Conforme a Kellman y Massey (2013), la experticia en un sistema perceptivo permite descubrir características y patrones para clasificar y reconocer las señales provenientes del entorno. En este proceso, el sistema extrae información de manera selectiva para apropiarla en porciones grandes. A medida que se da el aprendizaje, el proceso se hace más efectivo y de manera instantánea, estableciendo metarelaciones que facilitan la solución de problemas complejos. Las habilidades desarrolladas durante el proceso de aprendizaje permiten comprender patrones complejos y elementos más granulares, lo cual determinará la experticia del individuo para resolver problemas en todos los campos (Kellman y Massey, 2013). El desarrollo de este tipo de habilidades se logra con el entrenamiento en el manejo perceptual, lo que algunos autores denominan aprendizaje perceptual. El aprendizaje perceptual incluye una multiplicidad de procesos cognitivos asociados al reconocimiento de patrones y la eficiencia en el procesamiento de la información (Kellman, Massey y Son, 2009). El aprendizaje perceptual crece en la medida en que el cerebro configura fragmentos de información, extraída de diferentes fuentes de estímulos para mejorar el desempeño en una tarea de cualquier dominio. Según Kellman (2002), en el mejoramiento del desempeño están involucrados dos tipos de efectos: descubrimiento y fluencia. Los efectos de descubrimiento actúan encontrando información relevante, mientras que los efectos de fluencia actúan obteniendo la información de manera rápida y eficiente, influyendo en la disminución de la carga cognitiva.

Desde el punto de vista del desarrollo de habilidades, una persona requiere información de todos sus sentidos para aprender a discriminar los objetos que rodean su entorno colmado de información sensorial (Shams y Seitz, 2008). Por ejemplo, un estudiante que desea aprender sobre elaboración de alimentos se

enfrenta a un mundo de posibilidades llenas de información sobre recetas y productos. Para ello necesita conocer las propiedades y características de los productos que va a utilizar en la elaboración de alguna comida, recurre a su sistema sensorial que le permite tocar, observar, oler y probar los diferentes componentes del plato que va a preparar. En este caso, el mecanismo de percepción recurre a la información de los sentidos para configurar acciones que respondan a la tarea de elaborar un buen plato de comida. El aprendizaje de este proceso implica entrenamiento de las habilidades perceptuales para conocer sobre las características y propiedades de los diferentes productos, hacer las combinaciones, probar las mezclas, determinar las temperaturas de cocimiento, entre otros. En este marco, se consideran las interacciones multisensoriales del procesamiento perceptual, como los mecanismos de aprendizaje para el desarrollo de habilidades que conllevan al individuo a desarrollar su experticia, induciéndolo a actuar de manera eficiente en el entorno, ya sea solucionando problemas o sobreviviendo.

Memorización y aprendizaje

El sistema cognitivo del cerebro está comandado por la memoria. La memoria es la parte fundamental de la inteligencia y se expande en el córtex cerebral a través de conexiones de neuronas. La relación del aprendizaje y la memoria se da con el aumento en el número de conexiones neuronales, es decir, el aprendizaje afecta positivamente a la memoria. Wang (2013b) distingue cinco tipos de memoria que dependen de la función en el procesamiento de información y de estímulos provenientes del entorno: sensorial, consciente, de corto plazo, de largo plazo y actuante. En el sentido del procesamiento de información, Wang y Wang (2006) define cada tipo de memoria. Para estos autores, la memoria sensorial receptiona y mantiene de manera temporal las señales provenientes de los sentidos, la memoria consciente representa el estado cognitivo del cuerpo humano. La memoria de corto plazo, también llamada memoria de

trabajo, establece fragmentos neuronales flexibles como espacios de trabajo para acomodar hilos de pensamiento y conocimiento en forma de objetos, relaciones y enlaces (imágenes, datos, conceptos y sus atributos), generados por la interacción de la memoria de largo plazo, el sistema perceptual y el sistema inferencial. La memoria de largo plazo alberga de manera permanente el conocimiento, los hechos y las habilidades, su función es dinámica en la medida en que se establece por sinapsis (apareamiento o conexión de dos neuronas a través de señales eléctricas o químicas); del mismo modo es reconfigurable, comprometiendo entre otras cosas al aprendizaje. La memoria actuante mantiene de manera temporal cualquier decisión proveniente de las otras memorias para generar una acción o proceso, ya sea cognitivo o comportamental.

Desde el punto de vista de su distribución funcional, la memoria de largo plazo se divide en: episódica, procedural y semántica (Payne y Wenger, 1998). La memoria episódica da cuenta de la experticia del individuo, mientras que la memoria procedural se refiere a las habilidades adquiridas por efecto del aprendizaje y la semántica se acentúa en el conocimiento del lenguaje (Wang, 2013b). En teoría, un modelo cognitivo abstracto de la memoria, específicamente de la memoria de largo plazo, sería considerado como la interacción entre objetos, atributos y relaciones a través de enlaces de neuronas (sinapsis), lo que explica los mecanismos de representación de conocimiento e información en el cerebro (Wang, 2007). Según Wang, un *objeto* se establece internamente por la abstracción de una entidad externa y un concepto interno, un *atributo* se considera como una subclase del objeto que denota propiedades y características de este y una *relación* configura la conexión de objetos y atributos, unidos por pares, asimismo o entre ellos. La interacción entre el objeto, la relación y el atributo servirían de fundamento para explicar el aprendizaje como un proceso cognitivo que coteja un concepto (originado en la interacción del sistema de memoria a partir de información que se trasfiere del entorno) con los demás conceptos compilados en la memoria de largo plazo del aprendiz, y que forman una estructura de la relación, el objeto y el

atributo. Esta nueva estructura empieza a ser parte de la base de conocimiento que está en la memoria de largo plazo, es decir, se da una actualización de dicha base, lo que reacomoda una nueva red de conceptos (Wang, 2010; 2013). Este esquema funcional de la memoria se acerca a un concepto del aprendizaje, definido por Wang (2016) como un proceso cognitivo que acumula conocimiento proveniente del ambiente externo para adaptarlo en la generación de comportamientos y habilidades. El aprendizaje se da como producto de las bases de conocimiento semántico generadas en la memoria de largo plazo y las inferencias elaboradas en la memoria de corto plazo (Wang, 2016).

El proceso de memorización se fundamenta en la retención de información proveniente del mundo externo y la recuperación de información mantenida en la memoria de largo plazo (Sternberg, 1998). La memorización codifica y retiene información, estableciéndola en la memoria de largo plazo. De la misma forma, recupera y decodifica la información reconstruyendo y actualizando la configuración de sus redes neuronales (Wang, 2009). La codificación radica en la representación de conocimiento y la decodificación es la reestructuración de conocimiento. En este sentido, la memorización se relaciona directamente con el aprendizaje, en la medida en que retiene el conocimiento aprendido y lo recupera cuando se requiere actuar en el entorno; en otras palabras, el aprendizaje está inmerso en el contexto que limita el proceso de memorización. De modo análogo, el procesamiento de información en el aprendizaje implica la asimilación de estímulos sensoriales externos para la preparación de hilos de pensamiento; ello forma fragmentos de objetos, relaciones y atributos en la memoria de corto plazo, predispuestos a la memoria de largo plazo, en los que se establecen conexiones neuronales con redes almacenadas. Estas últimas se transforman en nuevas estructuras neuronales que generan acciones motoras, exteriorizadas en habilidades, en función de actuar en el entorno, resolver problemas y comunicarse con otros agentes (Wang, 2009).

El cerebro del ser humano cuenta con la habilidad de pensamiento abstracto bien desarrollada y la capacidad de su memoria (Wang y Wang, 2006). Estos dos elementos potencian su capacidad de

aprendizaje y establecen una diferencia con los demás seres vivos. La habilidad de pensamiento abstracto consiste en la capacidad para aislar las señales necesarias emitidas por otros agentes u objetos del entorno para discernir una situación o hecho que está sucediendo. En el aprendizaje, estas habilidades se manifiestan cuando el aprendiz recibe información de agentes externos a través de sus sentidos (profesor, ambiente, agentes sociales, etc.). Las experiencias anteriores almacenadas en su memoria de largo plazo y la interacción de la información sensorial con los procesos cognitivos dados en otras memorias le permiten discernir y concretar hechos, conceptos y situaciones que configuran su estructura cognitiva, enriqueciendo su memoria para disponer de acciones motoras que determinan su comportamiento y habilidades. Este proceso está determinado por la plasticidad del cerebro, en la que existe una transformación de conexiones y redes de neuronas en el córtex cerebral debido a entradas sensoriales.

La plasticidad del cerebro se distingue por el incremento en el potencial sináptico de pares de neuronas que se excitan al mismo tiempo, generando acondicionamientos de redes de neuronas en la memoria de largo plazo como producto del aprendizaje. El aprendizaje se consolida con la plasticidad, en la medida en que se fortalecen las sinapsis y se reconfiguran las conexiones de neuronas para ser almacenadas en la memoria de largo plazo. De acuerdo con Caroni, Donato y Muller (2012), la plasticidad incluye reacomodamientos estructurales de sinapsis preexistentes y la formación o pérdida de sinapsis y conexiones neuronales que implican al aprendizaje y la memoria, lo que altera la conectividad neuronal que se actualiza en nuevas reacomodaciones. Una instancia del mecanismo que fundamenta la plasticidad se origina en la entrada de estímulos visuales al córtex visual a través del tálamo. Un conjunto de neuronas anfitrionas establece el camino para fortalecer las sinapsis y estructurar nuevas conexiones y redes, con lo que genera representaciones de características comportamentales del sistema sensorial visual en el ambiente, tales como la amplitud, fijación y orientación visual (Lopez-Bendito y Molnar, 2003; Sur y Rubenstein, 2005; Yu, Farley, Jin y Sur, 2005).

Comprensión como una forma de aprendizaje

La comprensión es una de las funciones cognitivas esenciales del cerebro e involucra un proceso de decodificación del lenguaje (Plunkett, 1995), a través de la búsqueda de relaciones adecuadas entre la información sensorial de entidades reales que ingresa al cerebro y el conocimiento virtual dispuesto en la memoria de largo plazo, para construir un modelo de una nueva entidad envuelta en el entramado de conexiones y espacios de la memoria de largo plazo (Wang, 2003). En el proceso de comprensión se evidencian actividades como la búsqueda, la memorización y la representación de conocimiento (Wang y Wang, 2002). Según Wang *et al.* (2002), la búsqueda de información inicia en la memoria de corto plazo e implica el análisis de información de la memoria de corto plazo y la selección de información útil de la memoria de largo plazo. Esta interacción permite actualizar la memoria de largo plazo. La memorización depende de la representación de conocimiento útil almacenado para su disponibilidad en la fase de recuperación; este proceso está íntimamente ligado con el aprendizaje. La representación se basa en la asociación de conocimiento existente en la memoria de largo plazo para producir una estructura neuronal que relacione conceptos nuevos con los ya existentes. El sincronismo de las actividades descritas y su reciprocidad determinan el proceso de comprensión.

Un ejemplo del proceso de comprensión se da cuando una persona intenta llegar a un lugar y, para ello, trata de interpretar un mapa. En un principio, el individuo se enfrenta a un entramado de caminos y lugares, sin comprender la forma de llegar al sitio que está buscando. En la medida en que explora el mapa, construye una ruta que lo lleva al lugar deseado. Esta representación mental es el resultado de una nueva entidad conformada por la representación de relaciones y atributos de objetos (cruces de vías, desviaciones, señales, etc.) que almacena en su memoria y que le

permite comprender la distribución del espacio para desplazarse en futuras ocasiones, recuperando esta información de la memoria de largo plazo.

Razonamiento y aprendizaje

Mercier y Sperber (2011) se refieren al razonamiento como la producción consciente de nuevas representaciones mentales determinadas por una conclusión a partir de representaciones previamente elaboradas y formalizadas en premisas. Según Wang *et al.* (2006), el razonamiento es considerado como un proceso cognitivo de un nivel superior en el cerebro, se formaliza en causal, inductivo, deductivo y probabilístico. El razonamiento causal induce a una posible conclusión derivada de premisas basadas en relaciones de causa-efecto que prueban la verdad a partir de argumentos empíricos o inferencias teóricas. El razonamiento probabilístico supone conclusiones que se asimilan a verdades, derivadas de predicciones estadísticas. El razonamiento deductivo descubre nuevo conocimiento a través de conclusiones específicas basadas en creencias genéricas que ya están consolidados en la memoria en forma de reglas y principios abstractos. En otras palabras, la deducción genera una conclusión específica a partir de premisas generales.

El razonamiento inductivo deriva un patrón, una regla o una teoría de la abstracción de un conjunto de estímulos o eventos. En la inducción, se obtiene una conclusión general a partir de premisas específicas, producto de experiencias. En la inducción, la elaboración de inferencias genera hipótesis que expanden el conocimiento del individuo, su mecanismo de razonamiento provee una explicación a estas inferencias (Holyoak y Nisbett, 1988). El contexto de la inducción se extiende al aprendizaje de reglas, la formación de categorías, la generalización y la analogía (Holland, Holyoak, Nisbett y Thagard, 1986; Holyoak y Nisbett, 1988). Un ejemplo de este tipo de razonamiento se evidencia cuando un

vendedor infiere un patrón de comportamiento del mercado, cuando toma en consideración que los productos bajan su precio en la mitad de año y es el periodo propicio para realizar las compras, causado esto por una mayor oferta y la previsión de que los precios suben al finalizar el año. Una explicación satisfactoria del vendedor convencería a los compradores para realizar las compras en la misma época de años posteriores, repitiendo el mismo patrón de comportamiento. No obstante, si las reglas del mercado cambian, el vendedor tendría que hacer nuevas inferencias que modifiquen el patrón inicial para cambiar sus recomendaciones. Este comportamiento explica el proceso de razonamiento en función de proveer explicaciones sobre probables inferencias utilizadas como ensayos para generar una conclusión genérica, centrada en una hipótesis (Holyoak y Nisbett, 1988).

Al hacer referencia al aprendizaje, el razonamiento analógico desempeña un papel relevante, en la medida en que sirve para hacer inferencias y abstracciones, buscando similitudes entre experiencias pasadas y situaciones actuales (Gentner y Holyoak, 1997). El razonamiento por analogía conduce al individuo a descubrir y comprender un nuevo conocimiento basado en inferencias de experiencias anteriores recuperadas de la memoria. Las similitudes analógicas conforman relaciones de relaciones de experiencias anteriores (metarrelaciones) para comprender un nuevo significado de un concepto (cambio conceptual) (Gentner, 1983; Schank, 1982). El conocimiento de una persona dependería de sus mecanismos de aprendizaje y sus experiencias.

Otro elemento del aprendizaje que involucra el razonamiento por inducción es la categorización dada por jerarquías conceptuales. Por ejemplo, un aprendiz que se enfrenta a solucionar el problema de restar dos números, asumiendo que conoce la regla de identificar un número mayor y un número menor, en la que al número mayor se le resta el número menor. Si esta persona establece la regla como hipótesis para resolver cualquier operación de resta, dicha hipótesis requiere la formación de categorías como el sustraendo y el minuendo. Este tipo de razonamiento valida el pensamiento

del aprendiz y se convierte en un aprendizaje. Una categoría se considera como la representación mental de una clase de instancias (Holyoak y Nisbett, 1988).

Cuando se habla de razonamiento inductivo se debe tener en cuenta la formación de conceptos. Wang (2015) define un concepto como “la unidad fundamental del conocimiento humano y la cognición semántica, que llevan un significado estable en la expresión, el pensamiento, el aprendizaje, el razonamiento, la comprensión y la denotación de entidades” (p. 62). Los conceptos se forman por representaciones mentales y corresponden a individuos, objetos, propiedades, atributos, abstracciones y relaciones (Wang, 2015; Holyoak y Nisbett, 1988). El aprendiz en su proceso de razonamiento categoriza los conceptos de instancias específicas (especializadas) a una clase general (*bottom-up*) (fondo a la cima) y de una clase general a sus respectivas instancias (*top-down*) (cima a la base) (Holyoak y Nisbett, 1988). La categoría *bottom-up* se caracteriza por el descubrimiento de múltiples propiedades que definen instancias de una clase. Un ejemplo de esta categoría implica el razonamiento de una persona sobre un objeto (tornillo) que encuentra en el camino. Se infiere que este individuo establece categorías como instancias del objeto (tornillos para diferentes usos) relacionadas con el artefacto encontrado. La categoría *top-down* está relacionada directamente con las metas o conceptos del aprendiz que vienen a ser caracterizadas por las explicaciones o instancias del concepto. Para el caso del tornillo, un estudiante que intenta razonar para definir el concepto de fuerza se vale de instancias relacionadas con peso, gravedad, etc., para explicar este conocimiento.

La generalización a partir de instancias especializadas o viceversa se relaciona con la producción de reglas, esto produce un proceso de razonamiento por búsquedas heurísticas. Una instancia es la formación de reglas basadas en propiedades o atributos para predecir una categoría (*bottom-up*). Consideremos la siguiente regla: *si X es artefacto eléctrico que posee una pantalla y funciona como reproductor de películas, entonces X es un televisor*. Este ejemplo presenta una regla que incluye varias condiciones o premisas (características

del objeto) para que la persona prediga una categoría (objeto). Otro caso, es la precisión de una categoría a partir de argumentos o propiedades, definidos por reglas que explican o se aparean con esta clase (*top-down*). En la oración *una fruta se distingue por tener color rojo y ser comestible*, las reglas que justifican esta afirmación están determinadas por las siguientes instancias: *si la fresa es de color rojo y es comestible, entonces la fresa es una instancia de fruta, y si la mora es de color rojo y es comestible, también clasifica en las instancias de fruta*. El ejemplo explica el razonamiento que pretende precisar el concepto de fruta a partir de sus respectivas instancias que incluyen propiedades de las frutas. El razonamiento y la toma de decisiones son dos procesos cognitivos que se alimentan de la información externa para hacer inferencias relacionadas con nueva información, por un lado, y, por otro, decidir sobre esta información con base en conocimientos y experiencias previas y valores. El siguiente aparte trata el campo de la toma de decisiones y profundiza en aspectos determinantes en la selección de posibilidades para optar por una decisión.

Toma de decisiones y aprendizaje

El desarrollo del aprendizaje es el proceso que mayormente tiene que ver con la toma de decisiones. Este proceso cognitivo está relacionado directamente con la solución de problemas en la medida en que un individuo requiere razonar y operar cognitivamente para encontrar la mejor solución o tomar la decisión más adecuada de un conjunto de alternativas que lo conduzcan a un estado de solución. Wang y Chiew (2010) definen la toma de decisiones como un proceso cognitivo de un nivel superior en el cerebro, en el que un individuo selecciona una opción de un conjunto de alternativas, determinadas por criterios provistos por las oportunidades del ambiente. De acuerdo con Wang y Chiew, una decisión se representa como una función de un conjunto de alternativas y un conjunto de criterios o estrategias, categorizadas como intuitivas, empíricas, heurísticas y racionales. Las estrategias intuitivas son

arbitrarias, preferentes y de sentido común y están basadas en criterios de selección facilista, de expectativa y juicios personales. Las estrategias empíricas son experienciales y experimentales, y se soportan en criterios de investigación rigurosa y conocimiento de las personas. Las estrategias heurísticas se apoyan en códigos éticos, principios y representatividad, sus criterios son las teorías, creencias, juicios y reglas. Finalmente, las estrategias racionales se basan en cálculos de costo-beneficio teniendo en cuenta criterios de funcionalidad, calidad, probabilidad y confiabilidad.

Desde el punto de vista neurocognitivo se considera la toma de decisiones como un proceso de integración sensoriomotor, determinado por acciones motoras y entradas sensoriales que tiene en cuenta el conocimiento del estado de nuestro cuerpo y el estado del entorno junto con los objetivos propios, este proceso está limitado por incertidumbre debido al ruido que contamina nuestras entradas sensoriales (Körding y Wolpert, 2006). Por ejemplo, cuando se requiere alcanzar un objeto, las entradas sensoriales producto de la visión no son suficientes para calcular la localización, el tamaño y el peso del objeto, lo que genera incertidumbre; por tanto, se requiere más información dependiente de fuentes como el tacto para calcular la rugosidad y el peso del cuerpo, la propiocepción de la parte del cuerpo que va a realizar la acción, a dónde se envía información de la posición de la mano, la fuerza del músculo de la mano, etc. Esta combinación de información de diferentes entradas sensoriales, junto a la experiencia previa adquirida a través del aprendizaje, estima de manera probabilística la precisión aproximada de las variables que se conjugan para decidir alcanzar el objeto (Ernst y Banks, 2002; Alais y Burr, 2004; Jacobs, 1999).

Con base en un marco probabilístico, la toma de decisiones se asume dentro de la teoría de la utilidad que consiste en asignar una probabilidad y una utilidad a cada resultado de una alternativa (Oaksford, Chater y Stewart, 2012). En síntesis, una utilidad esperada es la suma de las probabilidades de los resultados obtenidos por la utilidad de estos. La decisión se representa con la ecuación 1.

$$Decisión = \sum P(i)U(i)$$

Ecuación 1.

Donde: P representa la ponderación de probabilidad, i es el resultado seleccionado y U es la utilidad de ese resultado.

Por ejemplo, en un caso en el que existe la probabilidad de hacer una inversión para construir una escuela, la decisión va a depender de diferentes factores que caracterizan la utilidad como población beneficiada, disponibilidad de docentes y recursos de funcionamiento, entre otros. Otra teoría se refiere a la *prospectiva* que valora el riesgo a futuro, ponderando los pesos asignados a una decisión por el valor de los resultados (Kahneman y Tversky, 1979). La notación formal se representa con la ecuación 2.

$$Valor\ del\ riesgo = \sum W(i)V(i)$$

Ecuación 2.

Donde: W representa el peso de un resultado i, y V, el valor del resultado i.

Una instancia en la que se aplica esta teoría está compuesta por los juegos. La teoría de los juegos se fundamenta básicamente en la toma de decisiones para alcanzar metas a partir de razonamientos estratégicos (Osborne y Rubinstein, 1994). Osborne *et al.* definen un juego como una descripción de una interacción estratégica, restringida a través de las acciones e intereses de los jugadores. Un juego representa de manera abstracta situaciones y problemas de la vida real. Apoyados en la teoría de juegos, la prospectiva supone la planeación de estrategias y formulación de retos para ganar. Cada reto implica calcular la probabilidad de ganar, valorando cognitivamente el peso de una decisión en función de hacer la mejor jugada que se acerque a la meta. Si se procediera al análisis de una situación real, la teoría predictiva sería aplicable, por ejemplo, al problema del cruce de una intersección, en la que dos vehículos se encuentran y uno intenta cruzar, mientras que el otro debe seguir en línea recta.

La decisión consiste en determinar cuál de los dos vehículos debe cruzar o parar para que el otro pueda seguir su camino. El valor del riesgo depende de la probabilidad de pasar, calculada a partir el peso asignado. Este porcentaje depende del valor dado a las variables que intervienen en la decisión (distancia al cruce, velocidad de los vehículos, potencia en la frenada, etc.). El razonamiento sobre estas variables es lo que determina el resultado de la decisión.

Desde el punto de vista computacional, la toma de decisiones es relevante en la medida en que programas de computador deben ejecutar acciones que requieren de modelos programados con base en algoritmos que incluyen razonamiento apoyado en encadenamientos de reglas (Bohanec, 2009). Por ejemplo, si vamos a realizar una operación matemática simple como la resta de dos números, el programa de computador deberá contener algunas restricciones o criterios que puedan identificar el sustraendo y el minuendo para tomar la decisión de realizar la operación, resultando un valor negativo o un valor positivo.

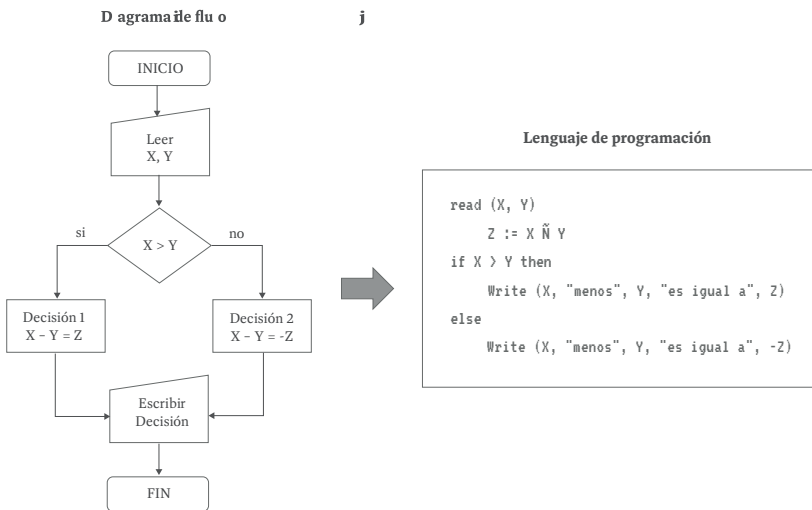


Figura 3. Toma de decisiones en la operación resta de números.

Fuente: elaboración propia.

La figura 3 ilustra el ejemplo anterior, representado en un diagrama de flujo acompañado del código de programación. En el ejercicio, el programa de computador debe decidir por cualquiera de las dos opciones, no sin antes haber verificado el valor de x . La realización de la operación depende de la decisión que se opte, condicionada por la entrada de los dos valores (x, y) . Instrucciones como las del programa de la resta encadenarían ramificaciones más complejas de código, generando programas con mayor dificultad. Al considerar la toma de decisiones en el contexto de los computadores se puede evidenciar su aplicabilidad en el modelamiento de agentes inteligentes de *software* (agentes pedagógicos), sistemas expertos, ambientes de aprendizaje basados en solución de problemas y otros sistemas basados en decisiones.

El análisis de la toma de decisiones tiene en cuenta seis fases que facilitan tomar una decisión eficaz, óptima, que considere la mejor alternativa (Bohanec, 2009; Clemen, 1996): identificación del contexto de la decisión (problema), descubrir y develar alternativas, modelación (diagramas, árboles de decisión, probabilidades, redes, jerarquías) y descomposición del problema (estructuración y medición de incertidumbre y peso), control y sensibilidad de las alternativas (proceso metacognitivo), selección de la mejor alternativa (solución), implementación de la decisión seleccionada (validación).

Una forma de ilustrar el análisis de las decisiones se presenta con el siguiente ejemplo: un estudiante que requiere tomar una decisión sobre qué carrera seguir cuando termine el bachillerato. A esta persona se le presentan cuatro oportunidades para estudiar: A (ingeniería), B (matemáticas), C (administración) y D (licenciatura). El estudiante desea tener en cuenta algunos criterios para tomar la mejor decisión que le sirva para su futuro: remuneración, facilidad de empleo, profundidad en el conocimiento, posibilidad de desarrollo profesional. Un primer análisis de estos factores sugiere el apareamiento de alternativas considerando las relaciones: preferencia, indiferencia (French, 1986). Al asignar un peso de 1 o -1 para relaciones de preferencia y 0 para relación de indiferencia se comparan por pares de opciones para elegir la carrera, esto se puede observar en la siguiente matriz (tabla 1).

Tabla 1. Criterios en la toma de decisiones.

Alternativa	A	B	C	D	Total
A		-1	0	1	0
B	1		1	0	2
C	0	-1		1	0
D	-1	0	-1		-2

Fuente: elaboración propia.

En la matriz, el valor 1 indica preferencia por la fila y -1 preferencia por la columna, el valor 0 es un indicador de indiferencia entre la fila y la columna. Si se analizan los resultados, la alternativa B (matemáticas) es la decisión considerada como la mejor opción, mientras que las alternativas A y C son consideradas iguales o indiferentes en la selección, la alternativa D (licenciatura) es la que menos tendría posibilidad de ser seleccionada.

Otra forma de hacer el análisis del problema se presenta cuando se consideran de manera subjetiva aspectos negativos y positivos de la posible decisión. En este caso, se utiliza un análisis de los pros (criterios que favorecen la decisión) y los contras (criterios que desfavorecen la decisión) (Baker, Bridges, Hunter, Johnson, Krupa, Murphy, Sorenson, 2001). Tomando como referencia los criterios iniciales establecidos para tomar la decisión, esta se representaría como se indica en la tabla 2.

Tabla 2. Análisis de alternativas en la toma de decisiones.

Alternativas	A	B	C	D
Pros (positivo)	*Remuneración *Profundidad en el conocimiento *Posibilidad de desarrollo profesional	*Profundidad en el conocimiento *Posibilidad de desarrollo profesional *Facilidad de empleo	*Remuneración *Posibilidad de desarrollo profesional *Facilidad de empleo	*Profundidad en el conocimiento *Posibilidad de desarrollo profesional *Facilidad de empleo
Contras (negativo)	*Facilidad de empleo	*Remuneración	*Profundidad en el conocimiento	*Remuneración

Fuente: elaboración propia.

En el análisis de alternativas se puede observar que cada opción se caracteriza por sus fortalezas y debilidades. En este caso, la toma de decisión se debería a la alternativa que tenga mayor potencialidad en cuanto a oportunidades que ofrezca.

La toma de decisiones trascrita a la teoría de solución de problemas planteada por Newell y Simon (1972) presenta al solucionador del problema como el sujeto que toma la decisión del estado final. Para ello una persona requiere de una amplia base de conocimiento que le permita representarse el espacio del problema encaminado a buscar alternativas a través del proceso heurístico en función de determinar una solución óptima o alcanzar una decisión (Hayes y Simon, 1974; Simon, 1979). Una instancia del proceso de toma de decisiones en el proceso de solución de problemas se ilustra en el diseño de un parque de diversiones en medio de un bosque que es una reserva natural, muchos ambientalistas recomendarían que el parque de diversiones debería conservar los senderos ecológicos y los ambientes que se construyan deberían integrar totalmente los recursos naturales, sin tener que talar los árboles para conservar el medio ambiente. Otro grupo de arquitectos pensarían que se deberían trazar vías para el ingreso de vehículos e incluir la construcción de edificios de distracciones integrados al espacio natural, sacrificando algunos árboles para generar ambientes mixtos con las edificaciones y el bosque, lo cual haría más atractivo el ambiente de diversiones. La posición de los dos grupos genera una ambigüedad para quien va a tomar la decisión de construir el parque. Simon (1979), basado en la teoría de la organización, se refiere a este tipo de ambigüedades como *metas subordinadas*, en la medida en que no se conectan operacionalmente con acciones. Según Simon, el tomador de decisiones deberá conectar estas metas basado en el conocimiento y la experiencia dispuestos en su memoria y la disposición del entorno. A partir de las motivaciones dadas por los consejeros y conocimientos previos, la persona que va a tomar la decisión tendría que organizar el cúmulo de información en una representación del problema de diseño del parque que facilite su solución. Este proceso implica contrastar todas las

alternativas racionales propuestas, requiere un conocimiento y experiencia del tomador para visualizar, y medir las consecuencias de estas alternativas. En el marco de la *racionalidad limitada*, Simon (1979) propone algunas recomendaciones para tratar este problema: 1) optar por opciones que satisfagan el resultado del problema, en lugar de soluciones perfectas, 2) reemplazar los objetivos generales por objetivos tangibles cuyos resultados sean observables y medibles, y, 3) dividir la responsabilidad de tomar una decisión entre varias personas expertas, de tal forma que se pueda liderar un trabajo coordinado a través de la colaboración. La toma de decisiones en la solución de problemas estaría dada por un conjunto de posibles estados de solución, un conjunto de validaciones de soluciones parciales y un conjunto de operadores cognitivos (acciones) aplicado en la transición de cada estado. Una explicación de los fundamentos de la solución de problemas se dilucida en el siguiente aparte.

Solución de problemas y aprendizaje

El proceso de aprendizaje basado en la solución de problemas incluye las ideas del aprendiz, los hechos y el conocimiento necesario para comprender la solución y la planeación de acciones para resolver el problema (Barrows, 1986). De acuerdo con la psicología de la Gestalt, la habilidad de una persona para solucionar un problema está relacionada con su aprendizaje y su sistema perceptivo. Un estudiante cuando va a resolver un problema se enfrenta a un mundo desconocido. Basado en su razonamiento sobre el problema, genera hipótesis soportadas en el conocimiento o experiencia que tiene; esto le sirve para identificar las situaciones relevantes y el conocimiento necesario para comprender el problema. El paso siguiente es la fijación de metas y la formulación de un plan de acción que incluye los recursos apropiados para completar la solución (Hung, Jonassen y Liu, 2007; Savery y Duffy, 1995).

Al respecto, hacemos remembranza a una definición clásica sobre la solución de un problema planteada por Polya (1957), quien establece cuatro fases para resolver el problema: 1) comprender el problema, 2) idear un plan de solución (generando una o varias hipótesis), 3) realizar lo planeado para probar las hipótesis, y (4) revisar el resultado para examinar la solución.

Newell y Simon (1972) definen la solución de un problema a través de la búsqueda del espacio del problema, desarrollado a través de la codificación mental de la situación inicial de este, la aplicación de un conjunto de operadores derivados de las habilidades cognitivas de un individuo hasta alcanzar un estado final o solución. La secuencia de estados, producto de la aplicación de operadores establece el camino de solución, delimitado por el estado inicial y el estado final. Desde el punto de vista cognitivo, la solución de un problema se conoce como la búsqueda en un espacio de la memoria para encontrar una relación entre una serie de estados, integrados por caminos alternativos en función de alcanzar una meta que responda a la solución (Wang y Chiew, 2010). Un problema está determinado por los datos (información relevante del problema), las metas (estados de solución) y las operaciones (habilidades cognitivas traducidas en acciones) (Ormrod, 1999; Wickelgren, 1974). Una persona que procede a resolver un problema intenta comprender los datos, las metas y su estructura fundamental para construir una representación y encontrar una solución (Voss, Lawrence y Engle, 1991).

Uno de los elementos fundamentales en la solución de problemas es el conocimiento estructural (Jonassen, Beissner y Yacci, 1993). Según Jonassen *et al.* (1993), el conocimiento estructural se refiere a la estructura cognitiva del individuo, dispuesta por patrones de relaciones de conceptos organizados en la memoria de largo plazo. La estructura cognitiva se forma por el vínculo de atributos a objetos para formar relaciones conceptuales, lo cual determina la conectividad e integración del conocimiento conceptual. Los autores definen el conocimiento conceptual como la comprensión de la formación estructural de un concepto y sus atributos.

Wang y Chiew (2010) definen los conceptos como unidades cognitivas que modelan entidades concretas del mundo y objetos abstractos percibidos. En un estudio sobre conocimiento estructural en solución de problemas, Robertson (1990) encontró que la estructura cognitiva que conecta el proceso de solución, representado en fórmulas algebraicas con los conceptos relacionados con el problema, es un elemento importante para el aprendizaje de principios y conocimientos genéricos.

Hipotéticamente un problema es asimilado a una función matemática, en la medida en que existe un estado inicial como entrada, una serie de operadores que transforman el estado inicial y un estado final como el resultado o salida de la función. La ecuación 3 representa el problema.

$$P(E_i, E_t) \Rightarrow E_f$$

Ecuación 3.

Donde: P es el problema representado en la función; E_i , el estado inicial; E_t , el estado de transformación producto de la aplicación de un operador, y E_f , el resultado de la transformación de la función o estado de solución del problema.

Al observar el proceso de transformación se establece una diferencia entre el estado inicial y el estado de transformación. Al reducir esta diferencia se alcanza la solución del problema.

Wang y Chiew (2010) proponen una definición computacional para la solución de un problema, aplicando un modelo matemático que consiste en el producto cartesiano de los elementos del problema, los caminos de solución y las metas u objetivos del problema. Estos componentes determinan dos categorías de problemas: convergentes y divergentes. Los problemas convergentes disponen de un método de solución cuya meta es conocida, el camino de solución es conocido o desconocido. Este tipo de problemas se consideran fuertemente estructurados (Goel y Pirolli, 1992; Shin, Jonassen y McGee, 2003). Una instancia de este tipo de problemas son los problemas matemáticos; sus objetivos, estados y operadores están bien definidos y el estado final es conocido. Los problemas divergentes son aquellos cuya solución es desconocida

(meta desconocida) y el camino de solución generalmente es desconocido, poseen múltiples soluciones. Esta clase de problemas son débilmente estructurados (Shin, Jonassen y McGee, 2003). Un ejemplo de esta categoría son los problemas de diseño de artefactos, el diseño de programas de computador (*software*), estos problemas incluyen metas y operadores débilmente especificados, hipotéticos o probabilísticos (Goel y Pirolli, 1992).

El aprendizaje a través de la solución de problemas habilita al aprendiz a desarrollar habilidades para codificar información, buscar soluciones y proponer ideas creativas e innovadoras (Giampaoli, Ciambotti y Bontis, 2017). Los procesos de aprendizaje son esencialmente sociales y colectivos. Esta habilidad ocurre a través de la interacción de individuos y la comprensión de problemas complejos (Teece, Pisano y Shuen, 1997). El desarrollo del aprendizaje en la solución de problemas implica procesos de razonamiento profundos desde el punto de vista cognitivo y metacognitivo para representar el problema, proyectar posibles soluciones, justificar y argumentar la transición de estados, monitorizar el proceso de solución y evaluar el resultado final sobre todo en problemas débilmente estructurados. Para desarrollar estas habilidades, investigadores han utilizado las tecnologías de la información en la construcción de ambientes de aprendizaje que incluyen andamiajes para guiar a los aprendices en la solución de problemas (van Merriënboer, Kirschner y Kester, 2003). Estos andamiajes están diseñados a partir de mensajes que dirigen la atención de los estudiantes a elementos importantes del problema, a la activación de esquemas de solución, a suscitar explicaciones, a promover procesos metacognitivos de automonitoreo y autoevaluación (Ge y Land, 2004; Rosenshine, Meister, y Chapman, 1996). Un estudio realizado por Maldonado, Fonseca, Ibáñez, Macías, Ortega, Rubio y Sanabria (1999) prueba diversos ambientes que incluyen una gama de problemas apoyados en andamiajes que incluyen mensajes como elementos motivadores en el desarrollo de habilidades metacognitivas. La utilización de mensajes incita al razonamiento de los estudiantes para identificar variables relevantes, identificar y organizar la información útil

en la representación del problema, delimitar y planear el proceso de solución, monitorizar y controlar los estados para estructurar la solución y evaluar y comparar las soluciones más acertadas al objetivo del problema (Ge, Chen y Davis, 2005). Ge, Chen y Davis (2005) investigaron el efecto de los mensajes basados en preguntas sobre la solución de problemas de diseño (débilmente estructurados) en un ambiente de aprendizaje basado en la web. Los resultados de este estudio mostraron las ventajas de los mensajes en el andamiaje para la solución de estos problemas complejos. Las evidencias mostraron efectos positivos en el razonamiento cognitivo y metacognitivo para la representación del problema, la identificación de restricciones, la búsqueda de caminos de solución, el monitoreo y evaluación del proceso de solución.

Síntesis del capítulo

El aprendizaje considerado como un proceso cognitivo de alto nivel involucra en su desarrollo otros procesos cognitivos que lo llevan a compilar en el cerebro la información del entorno convirtiéndola en habilidades. Las redes del córtex cerebral se constituyen en el motor del cerebro; este sistema en la medida en que transforma estímulos sensoriales en estructuras complejas de redes y conexiones habilita las funciones cerebrales para actuar en el mundo (Majewska y Sur, 2006).

El capítulo muestra cada uno de los procesos que participan en el aprendizaje y su función en el desarrollo de habilidades y comportamiento. El aprendizaje se genera por la interacción de varios procesos cognitivos. La percepción, la memorización, la comprensión, el razonamiento, la toma de decisiones, la solución de problemas, entre otros, están íntimamente ligados al procesamiento de información en el desarrollo del aprendizaje. Según Wang *et al.* (2006a) existen 52 procesos cognitivos, algunos corresponden a la parte consciente del cerebro; otros, a la parte subconsciente. Los procesos cognitivos abordados en este capítulo hacen parte de las dos categorías. La percepción y la memoria están en la

capa subconsciente del cerebro, mientras que la comprensión, el razonamiento, la toma de decisiones, la solución de problemas son procesos desarrollados por el cerebro de manera consciente. El abordaje de cada uno de los procesos muestra la relevancia de la integración de sistemas que configuran el desarrollo de habilidades para actuar en el mundo.

El proceso de aprendizaje comienza con la activación del mecanismo de percepción con el cual se filtra, interpreta y clasifica la información sensorial proveniente del entorno para procesarla y convertirla en redes que anticipan una acción motora. La memoria es el mecanismo funcional más importante de la inteligencia que establece todas las conexiones de los diferentes procesos cognitivos y dispone todos los sistemas de interacción para actuar en el mundo. El proceso de comprensión es uno de los sistemas fundamentales en la interpretación de la información sensorial y motiva la interacción entre la información real proveniente del entorno y la información virtual de la memoria de largo plazo. El proceso de razonamiento actúa como un sistema recursivo que compara información virtual almacenada en el cerebro con nueva información sensorial externa para generar nuevo conocimiento. Este proceso es fundamental en la toma de decisiones, en la medida en que se selecciona una opción con base en el conocimiento racional y su interacción con diferentes patrones de comportamiento del ambiente. La toma de decisiones es un factor determinante de la experiencia y las habilidades del individuo para resolver sus problemas. Precisamente, el último proceso cognitivo se refiere a la solución de problemas y supone ser el mecanismo más holístico en el aprendizaje en razón al espacio donde interactúan varios procesos cognitivos para el desarrollo de sistemas estratégicos que fusionan conocimiento, experiencia, planeación, regulación y control metacognitivo; aspectos fundamentales en el desarrollo del aprendizaje. El rastreo de los anteriores procesos cognitivos muestra un ciclo hipotético del aprendizaje en el que intervienen cada uno estos mecanismos en función del desarrollo de habilidades.

Capítulo 3

Modelación de procesos mentales en tareas de aprendizaje

La modelación cognitiva centra su atención en la producción de modelos computacionales de procesos mentales, tales como la memoria, el razonamiento, la comprensión, la metacognición, la toma de decisiones, entre otros (Sun, 2018). La manera como un aprendiz percibe, razona y actúa en la realización de una tarea o la solución de un problema son elementos que evidencian la transferencia de esquemas de comportamiento para la producción de modelos computacionales utilizados en procesos de aprendizaje (Jonassen, 2006).

El modelamiento cognitivo es una abstracción de la forma como el individuo aprende y sistematiza su conocimiento para generar una conducta inteligente a través del desarrollo de sus habilidades. La tarea de modelamiento cognitivo consiste en capturar la forma como un individuo percibe, procesa información, aprende y actúa. La representación de estas acciones son objeto de simulación en escenarios artificiales como el computador. El modelamiento implementado computacionalmente denominado “arquitectura cognitiva computacional” es una representación algorítmica de entidades y relaciones correspondientes a un fenómeno o proceso cognitivo (Sun, 2009; 2016). Estos ámbitos evidencian la transferencia de esquemas de comportamiento en la producción de modelos

de aprendizaje computacional para beneficio de los aprendices. La conformación de la “estructura cognitiva” consiste en una estructura ontológica que le sirve de base, unos mecanismos y procesos definidos por varias capacidades cognitivas como el aprendizaje, la memoria, la toma de decisiones, entre otros; estos elementos están soportados en información de experiencias del individuo e intentan explicar la cognición humana (Luce, 1995; Sun, 2009).

La observación del comportamiento de un individuo evidencia tres escenarios de modelamiento: el primero es la interacción entre el individuo y los dispositivos; el segundo tiene que ver con la interacción del individuo con sus pares y el tercero es una combinación de los dos anteriores. El primer sistema hace referencia a la comunicación de la persona con sus recursos o instrumentos en función de realizar una tarea o solucionar un problema (p. ej., la interacción del individuo con el computador). El segundo se refiere a la interacción comunicativa entre personas (p. ej., diálogos entre profesor y estudiante o entre estudiantes), y el tercero se refiere a la interacción entre dispositivos y personas (p. ej., ambientes mixtos de aprendizaje *b-learning*). Estas tres instancias motivan la realización de modelos que implican la construcción de ambientes de aprendizaje derivados de componentes interactivos sociales e individuales. Si analizamos estos escenarios podemos inferir una serie de procesos cognitivos y sociales que son objeto de modelamiento en el computador. Sun (2018) denomina esta combinación como la simulación social cognitiva, en la que se integran modelos computacionales sociales, tales como la interacción de pares (procesos colaborativos) y modelos cognitivos de procesos mentales como la memoria, la toma de decisiones, entre otros.

Los trabajos desarrollados en investigaciones realizadas en el grupo Cognitek estudian diferentes escenarios objeto de modelamiento en la solución de problemas, en los que se evidencian interacciones entre el estudiante, el modelo computacional y la comunicación a partir de estos medios tecnológicos entre el profesor, los estudiantes y sus pares (Maldonado, Ortega, Sanabria y Macías, 2001; Sanabria, Ibañez y Valencia, 2015; Sanabria y Macías, 2006).

Los anteriores fundamentos teóricos son la base para desarrollar este capítulo, cuyo objetivo está orientado a describir diferentes métodos para modelar el proceso de aprendizaje. Las fases se originan con el rastreo de información en la realización de tareas de aprendizaje en las que se busca identificar acciones y procesos para obtener patrones que representan el modelo cognitivo del estudiante.

Rastreo y captura de información en tareas de aprendizaje

El aprendizaje involucra una serie de interacciones de diferentes procesos como la cognición, la afectividad, la metacognición y la motivación (Azevedo y Alevén, 2013); esto muestra la necesidad de obtener la información de lo que sucede en cada uno de ellos, con el objeto de hacer una representación, lo más completa posible, capaz de modelar el proceso de aprendizaje. El rastreo de información en el desarrollo de un proceso de aprendizaje es una tarea minuciosa que busca hacer un seguimiento a las actividades cognitivas, evidentes en acciones comportamentales del individuo a través de varias fuentes como la verbalización, la gesticulación, las actividades motrices, las reacciones fisiológicas, el rastreo visual revelado en el parpadeo, la fijación y el cambio de mirada, entre otros. La precisión en el rastreo de información implica obtener datos de muchas fuentes, filtrar datos relevantes, asegurar la confiabilidad de los datos, validar los datos a partir de modelos teóricos.

La finalidad de la búsqueda de información es obtener datos para inferir significados y realizar acciones encaminadas a tratar de interpretar lo que el individuo está pensando mientras realiza una tarea o resuelve un problema (Ericsson y Simon, 1993; Ohlsson y Langley, 1988). La interpretación de la información consistiría en describir procesos cognitivos y metacognitivos e identificar estrategias para generar patrones que conforman modelos utilizados en investigación y diseño de escenarios de aprendizaje (Azevedo y Alevén, 2013). En esta línea se referencian trabajos que hemos

venido desarrollando en el grupo Cognitek, en los que se utilizan los protocolos para la identificación de estrategias y el estudio de procesos cognitivos y metacognitivos, tanto en la comprensión del espacio como en la solución de problemas y el desarrollo de competencias docentes (Sanabria, 2015; Sanabria y Macías, 2006).

Según Ohlsson y Langley (1988), la descripción de los procesos mentales de una persona en la ejecución de una tarea o en la solución de un problema genera un registro de su desempeño, denominado “diagnóstico cognitivo”. En el aprendizaje, el “diagnóstico cognitivo” correspondería a la evaluación del conocimiento del estudiante en la realización de una tarea de aprendizaje; esta información se relaciona con el modelamiento del aprendiz, lo que serviría para construir andamiajes adaptados de manera individual o colectiva.

En la literatura se reconocen dos formas de acceder a la información proveniente del ser humano mientras realiza una tarea. Una es el rastreo de acciones verbales y motrices y comportamientos psicológicos que se manifiestan externamente; y otra es la obtención de información de la actividad del cerebro a través de medios neurotecnológicos (Azevedo, 2015; Luciw, Jarocka y Edin, 2014; Schalk, McFarland, Hinterberger, Birbaumer y Wolpaw, 2002). La primera forma de rastreo se caracteriza por hacer evidentes señales informativas que se captan por medios visuales, sonoros y a través de sensores (Azevedo y Alevén, 2013); estos datos pueden ser registrados y analizados por el investigador directamente a través de métodos de *big data* (*Learning Analytics* or *Educational Data Mining*; Baker y Siemens, 2014; Baker e Inventado, 2016). La segunda forma requiere el análisis estadístico de datos provenientes de registros electroencefalográficos. Un ejemplo de ello son las interfaces cerebro-computador (BCI, *Brain Computer-Interfaces*); estos dispositivos proporcionan información de la actividad neuronal y su relación con los procesos psicológicos (Roelfsema, Denys y Klink, 2018). Las tecnologías mencionadas tendrían aplicación en la educación del futuro, en la que se prevé que la percepción de estos patrones, provenientes de la actividad cerebral, puedan servir para proporcionar información del estado cognitivo del aprendiz (modelo

del estudiante) con el fin de ser utilizada por agentes pedagógicos diseñados a partir de la inteligencia artificial para retroalimentar al alumno en su aprendizaje.

Por ahora, nos fijaremos en tratar algunos métodos para rastrear información, observable de manera directa con el fin de hacer un “diagnóstico cognitivo”. El primer método clásico es el propuesto por Newell y Simon (1972), consistente en la construcción de modelos de procesamiento de información en la solución de problemas sobre la base de protocolos verbales o pensamiento en voz alta. El segundo método referido a la detección de expresiones faciales como el movimiento de los ojos, la gesticulación, información fisiológica como las pulsaciones del corazón, la presión sanguínea, entre otras, que generan información de la fijación visual o de las emociones y actitudes de la persona sobre diferentes elementos del proceso de aprendizaje (Azevedo y Gašević, 2019). El tercer método está relacionado con el monitoreo de acciones físicas que generan información derivada de reacciones corporales como la actuación sobre un teclado o el ratón, registrados en la pantalla de un computador; la toma de apuntes y el registro de datos proveniente de representaciones gráficas y dibujos (Azevedo y Alevén, 2013). Sobre este tema, Malmberg, Järvelä, Holappa, Haataja, Huang y Siipo (2019) realizaron una investigación que reunía datos de diversos canales y modos para estudiar la forma en que estas fuentes de datos pueden ser útiles para medir las interacciones y la regulación en diferentes etapas del aprendizaje colaborativo. En el estudio se utilizaron datos fisiológicos, de observaciones de video y datos reconocimiento facial. Esto representa el rastreo de datos multimodales, útiles en la medición de interacciones sociales y en el aprendizaje.

Los protocolos verbales de pensamiento constituyen una técnica de rastreo de información basada en el lenguaje hablado que una persona verbaliza de manera concurrente o en tiempo real a medida que está inmerso en el proceso de solución de un problema o la ejecución de una tarea. La verbalización consiste en un proceso interpretativo de la mente que incluye una serie de variables como

la inferencia, la transformación e inferencia de conocimiento implícito (Nisbett y Wilson, 1977). El protocolo verbal es un proceso narrativo de una secuencia de eventos que incluye una descripción textual de las acciones de una persona cuando realiza una tarea (Ericsson y Simon, 1993). Los eventos pueden ser agrupados en segmentos que determinan procesos (Guerriero, Priami y Heath, 2007). Hayes y Flower (1980) definen un protocolo como una descripción sistemática de actividades realizadas por una persona durante una tarea o resolución de un problema. La fuente de información tiene su origen en la verbalización y las acciones del individuo cuando realiza la tarea o resuelve el problema. La captura de información se da a través de diferentes medios como la videograbación, el registro sistemático de la observación, el registro computacional, entre otros. La interpretación de la información proveniente del protocolo implica la realización de procesos creativos para disgregar la información con el fin de visualizar datos relevantes, descubrir relaciones y reusar el conocimiento obtenido del análisis para abstraer patrones configurados en modelos.

La información visual es un dato muy importante para dilucidar el funcionamiento del cerebro a través de sus acciones cognitivas. El rastreo ocular sirve para obtener información del comportamiento de una persona cuando realiza una tarea. Un ejemplo hipotético se da con la interacción de un individuo cuando resuelve un problema en un computador, lo primero que hace es realizar un barrido visual de los elementos del problema, fija su mirada en los elementos que le llaman la atención y en la información que aparece de manera efectiva, en especial sobre algún objeto que le ayude en la solución (Tai, Loehr y Brigham, 2006). La detención de su mirada por algún tiempo en puntos específicos determinaría el próximo paso a seguir reconociendo estados anteriores, esto implica el mapeo de alguna estrategia que está siguiendo en el camino de solución; el movimiento rápido de los ojos significaría una exploración del contexto del problema o el desconocimiento de los elementos del problema. Un estudio realizado por Grant y Spivey (2003) demostró que los aprendices exitosos en la solución de problemas de radiación

de un tumor fijaron su atención visual en áreas específicas de un diagrama a diferencia de los no exitosos. En un experimento posterior, en el que incorporaron una señal perceptual en un área particular del diagrama para llamar la atención, se observó que esta ayuda incrementó la frecuencia de soluciones correctas de los aprendices. Se prevé que estos datos sirvan para reflexionar sobre el estado de conocimiento del sujeto en la solución del problema, con lo cual se proyecta el diseño de estrategias que retroalimenten el aprendizaje de esta persona, tales como optimizar las interfaces de comunicación de los individuos, diseñar ayudas, cambiar los escenarios de la pantalla para que sean más amigables y acordes al gusto y necesidades del usuario, entre otros. La información de la mirada de un estudiante es relevante en la medida en que se extraen datos útiles para diseñar estrategias, dirigidas a proporcionar retroalimentación en el proceso de aprendizaje.

El registro de la trayectoria de la mirada, el tiempo de permanencia y los movimientos posteriores pueden ser objeto de análisis para el modelamiento del comportamiento de una persona. En un campo visual se distinguen tres tipos de movimiento de los ojos: fijación de la mirada, movimiento rápido de los ojos hacia dos puntos de fijación (sacadas), regresión de la mirada hacia un punto anteriormente visto. Sobre estas funciones del ojo humano se establecería una serie de mediciones que servirían como datos de análisis: duración de la fijación de la mirada, área de distribución de la mirada, duración del movimiento sacádico, frecuencia de la regresión, entre otros (Rodrigues y Rosa, 2017; Thite, 2014). En relación al movimiento de los ojos, Mizoguchi, Nishiyama y Iwasaki (2014) estudian la distracción de los conductores de vehículos a partir del análisis de datos de las acciones del módulo ocular sincronizadas con las acciones de conducción de un vehículo, con el fin de determinar, a través del aprendizaje basado en reglas, el estado del conductor y verificar la consistencia del movimiento de los ojos y los datos de manejo con el modelo cualitativo de la carga mental cognitiva del conductor previamente estudiada. Durante la verificación de las reglas obtenidas en el proceso de aprendizaje,

se confirmó la precisión de manejo en una carretera con poco tráfico. Los datos obtenidos podrían ser útiles para el diseño de interfaces de manejo de vehículos.

A partir de estas funcionalidades, el rastreo ocular sería utilizado para develar puntos clave en estudiantes expertos que solucionan problemas y puntos débiles en estudiantes que tienen dificultades en su aprendizaje. En esta línea, la información de la mirada puede ser útil como datos del proceso de aprendizaje; se pueden extraer estrategias para aprender y proporcionar ayudas para un aprendizaje más efectivo, se puede valorar si la persona está aprendiendo o algunos aspectos de su aprendizaje se le dificultan. También se puede evaluar si el estudiante fija su mirada de manera global a todo el escenario de aprendizaje para tratar de comprender el problema o fija su mirada en algunos elementos en particular para identificar un camino de solución o una estrategia válida, que otras personas no han seguido y que serviría para ser implementada como realimentación en el aprendizaje de las personas con dificultades. Con esto, la información ocular en general es útil para el diseño de estrategias de aprendizaje en ambientes computacionales.

En el seguimiento ocular se utilizan dispositivos como por ejemplo el Eye Mark que produce NAC (Image Technology Inc., 2019); estos dispositivos tienen la capacidad de visualizar y medir el punto o lugar donde la persona dirige su mirada. Los registros de datos emitidos por estos sistemas facilitarían el análisis de los procesos cognitivos de la persona que realiza una tarea de aprendizaje.

El rastreo de acciones físicas de la mano como la toma de notas y la realización de representaciones gráficas es una forma que utilizan los aprendices para abstraer información y construir representaciones mentales de lo que están analizando o comprendiendo en relación con la tarea que desarrollan; estas actividades se realizan en tiempo real a medida que la persona interactúa en un ambiente de aprendizaje (Azevedo, Harley, Trevors, Duffy, Feyzi-Behnagh, Bouchet y Landis 2013). El seguimiento a la toma de notas y la realización de representaciones gráficas se puede obtener mediante videgrabación cuando el aprendiz realiza la

actividad de manera manual o registro en libretas digitales (*notepad*) cuando el aprendiz utiliza medios tecnológicos. El registro de la información se realiza a través de medios digitales o recuperando y transcribiendo la videograbación para su posterior análisis. La codificación de la información producto de la videograbación o el registro de la pantalla del computador determinará la estrategia que el aprendiz está manejando al momento de solucionar un problema o la integración de ideas de diferentes apartes de un texto para su comprensión (Azevedo *et al.* 2013).

Otro elemento por considerar en el rastreo de información son las expresiones faciales que permiten analizar los estados emocionales de una persona (Ekman y Friesen, 2003). Las expresiones faciales reflejan estados afectivos de las personas (Friesen y Ekman, 1983). Los patrones de expresiones faciales ayudan a predecir las actitudes positivas y negativas y comportamientos de las personas como disgusto, sorpresa, preocupación, alegría, aburrimiento, confusión, ansiedad, frustración, entre otras. Cada actitud tiene un significado en el aprendizaje. Por ejemplo, el aburrimiento significaría desmotivación hacia el aprendizaje por desconocimiento de un tema; la alegría, el descubrimiento de un camino de solución a un problema. Las expresiones faciales se configuran a través de secuencias de contracciones musculares combinadas con estados emocionales de la persona (Lewinski, Franssen y Tan, 2014). Una forma de capturar la información de este tipo de reacciones es a través de videograbación (p. ej., cámaras web que directamente registran la información al computador), aunque existen otras formas como los sensores que capturan movimientos musculares que no son visibles por los seres humanos.

Una forma final de rastreo utilizada en laboratorio se refiere a la información fisiológica que permite obtener datos como, por ejemplo, de presión sanguínea y latidos del corazón. Aunque existen estudios que utilizan mediciones de presión sanguínea, orientados a la salud de las personas que han estado relacionados con el problema de la hipertensión y el desempeño cognitivo (Muela, Costa-Hong, Yassuda, Moraes, Memoria, Machado, Macedo, Shu,

Massaro y Nitrini, 2017); sin embargo, se prevé que esta forma de rastreo de información sea útil para diagnosticar las deficiencias en el aprendizaje. El método serviría para crear una representación del estado psicológico del aprendiz, evidente en los cambios de su actividad cognitiva, en las emociones reflejadas en actitudes positivas y negativas y en la motivación de la tarea (Fairclough, Ewing y Roberts, 2009). Por ejemplo, los datos de presión sanguínea han sido asociados con la carga mental y la motivación de la tarea. En esta medida, los registros son útiles para seleccionar una realimentación apropiada a las características del individuo, si el resultado del análisis de los datos concluye en una frustración, convendría activar un mensaje de ayuda, si el estudiante muestra aburrimiento en la solución de un problema, una forma de realimentación es indicarle alguna estrategia para que avance (Fairclough *et al.*, 2009).

Segmentación y codificación de información en tareas de aprendizaje

La información recaudada de los diferentes métodos relacionados en la sección anterior surte varios procesos de transformación para luego ser interpretada. Aunque existen técnicas avanzadas para análisis de datos sobre las acciones de los aprendices en tareas de aprendizaje como el *big data*, en esta sesión tomaremos uno de los métodos clásicos para explicar los procesos de segmentación y codificación de información. El método describe tres procesos relevantes en el análisis del proceso cognitivo del aprendiz: transcripción, segmentación y codificación (Chi, 1997).

La *transcripción* de la información recolectada por cualquier técnica o conjunto de técnicas de rastreo consiste en la reproducción con la mayor fidelidad de todas las acciones, verbalizaciones, representaciones gráficas y textuales, entre otras, para determinar todo lo que sucedió en el transcurso de la realización de una tarea. Para ello se transfiere de forma escrita el contenido de la videograbación,

los registros de otras formas de rastreo, utilizando el computador u otro medio. El resultado de este proceso genera un conjunto de expresiones y categorías con el propósito de derivar un modelo del comportamiento de los individuos (Chi, 1997; Erisson y Simon, 1993; Maldonado, 2001; Sanabria, 2014). Un ejemplo de un párrafo de transcripción es tomado del problema clásico de las torres de Hanoi, consistente en un conjunto de discos de diferente diámetro perforados y apilados de forma ascendente (mayor a menor diámetro) en una de tres columnas. La interacción en el juego consiste en armar la misma pila en la tercera columna, intercambiando los discos a través de cada columna. Para resolver el problema, el jugador debe observar las reglas mostradas en la figura 2.

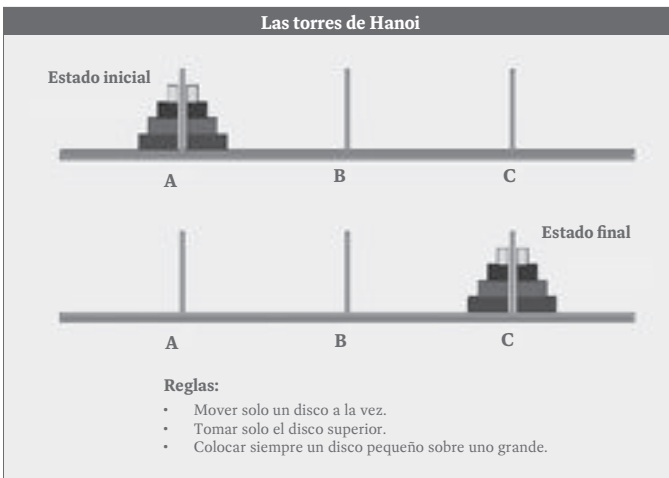


Figura 2. Problema de las torres de Hanoi.

Fuente: elaboración propia.

El siguiente texto muestra la transcripción de un párrafo de un jugador: “Durante el juego, el disco 1, um, tiene más movimientos, y si se mueve más, puedo mover los otros discos. Y, um, el disco 2, se desplaza cada 2 movimientos” (Desconocido).

El proceso que sigue es la *segmentación*, consiste en una división del texto transcrito en partes o segmentos que tengan un sentido racional, esto permite identificar unidades de análisis proclives a constituirse en una inferencia. La revelación de estas unidades se evidencia a través de características semánticas como proposiciones, ideas, cadenas de razonamiento, episodios que indiquen un evento o una acción específica (Chi, 1997). Retomando el ejemplo anterior, se pueden identificar tres segmentos, tal como sigue:

Durante el juego, el disco 1, um, tiene más movimientos, //
y si se mueve más, puedo mover los otros discos. //
Y um el disco 2, se desplaza cada 2 movimientos.//
(Desconocido)

Un tercer proceso es la *codificación* considerada como un proceso de transformación de los datos registrados en cada segmento. El proceso consiste en clasificar los datos en formalismos conformados por categorías que representan algún conocimiento (Chi, 1997). La primera fase de la codificación es establecer las categorías sobre las cuales se pueden clasificar los datos por parte del investigador. Para el ejemplo de las torres de Hanoi serían útiles las siguientes categorías: comprensión de los estados de solución determinados por variables como la columna en la que el jugador planea mover el disco y datos representados por los discos, ejecución de movimientos y valoración de estos e inferencia de la estrategia utilizada por el jugador. Una forma de representar estas categorías es utilizar lógica de predicados o lógica de primer orden. La lógica de predicados se basa en la teoría de la memoria asociativa de Anderson y Bower (2014) para representar proposiciones que especifican relaciones semánticas entre conceptos. En lógica de predicados una proposición está expresada a partir de una estructura lógica conformada por predicados y argumentos. Un ejemplo, derivado de la transcripción de segmentos del párrafo correspondiente a la torre de Hanoi se representa a partir de la teoría de memoria asociativa (figura 3). En la red, cada nodo (a, b, c, d) representa una proposición compuesta por un sujeto y un predicado. El predicado se establece a partir de una relación y un objeto. El sujeto y el objeto del predicado componen los argumentos de la oración, mientras que la relación

verbal conforma el predicado de la oración, la combinación de los dos elementos, argumentos y predicado, determinan una cláusula. La notación de una cláusula estaría dada por:

predicado (argumento₁, argumento₂, argumento_n,...)

Al transformar cada nodo de la figura 3 en lógica de predicados se genera una regla con las siguientes cláusulas:

tiene (D1, +, mov/tos) :- mover (D2, D3, D4), desplazar (D2, 2, mov/tos)

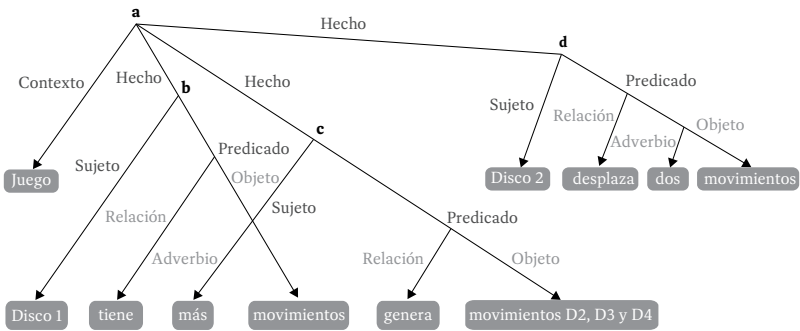


Figura 3. Representación de un segmento en la torre de Hanoi.

Fuente: basada en la teoría proposicional de Anderson y Bower (2014).

Basados en la metodología de análisis utilizada por Mizoguchi, Ohwada, Nishiyama y Iwasaki (2013) para la identificación del estado cognitivo de conductores cuando realizan una tarea de manejo de un vehículo, se puede representar hipotéticamente un formalismo teniendo en cuenta las categorías de análisis de las torres de Hanoi. Este ejercicio iniciaría por representar en lógica de predicados las acciones de un jugador para posteriormente, transformar esta información de manera tabular. El ejemplo comienza con la codificación en las siguientes cláusulas:

Jugador (X)

Mover (X, D_n, p_n):- comprende (X, v, p), ejecuta (X, m, v),
 infiere (X, e, v)

Para explicar este formalismo nos dedicaremos a describir la interacción de un jugador X que mueve un disco (D_n), a una posición cualquiera (p_n), correspondiente a una columna de la torre de Hanoi. Este movimiento implica la codificación de tres categorías por parte del investigador. La primera categoría, relacionada con comprensión, indica la identificación de la variable (v) que corresponde al disco candidato a moverse por parte el jugador X, y un dato que identifica la posición (p) a donde el jugador desea desplazar el disco. La segunda categoría, ejecución, supone la identificación del movimiento (m) y su valoración como acertado o equivocado (v). La tercera categoría de inferencia implica la deducción de la estrategia (e) que el jugador está utilizando y su valoración como acertada o equivocada (v). Con la utilización datos reales, el formalismo anterior adquiere la siguiente forma:

Jugador (X)

Mover (X, D_1 , 3) :- comprende (X, D_1 , 3), ejecuta (X, 1, 1), infiere (X, 1, 1)

Mover (X, D_2 , 2) :- comprende (X, D_2 , 2), ejecuta (X, 2, 1), infiere (X, 2, 1)

Mover (X, D_1 , 2) :- comprende (X, D_1 , 2), ejecuta (X, 3, 0), infiere (X, 1, 0)

Mover (X, D_1 , 1) :- comprende (X, D_1 , 1), ejecuta (X, 4, 1), infiere (X, 1, 1)

Mover (X, D_2 , 3) :- comprende (X, D_2 , 3), ejecuta (X, 5, 1), infiere (X, 2, 1)

Mover (X, D_1 , 3) :- comprende (X, D_1 , 3), ejecuta (X, 6, 0), infiere (X, 1, 0)

Mover (X, D_3 , 2) :- comprende (X, D_3 , 2), ejecuta (X, 7, 1), infiere (X, 3, 1)

Cada regla muestra la ejecución de un movimiento del jugador a una posición determinada. La codificación de las categorías de análisis indican si el jugador comprende el movimiento, ejecuta la acción ("0" válida y "1" inválida) y si la estrategia que utilizó es acertada "1" o equivocada "0". Los movimientos están enumerados

en forma serial y las estrategias están nominadas según el disco que el jugador esté moviendo (p. ej., si únicamente mueve D1, entonces la estrategia corresponde al movimiento de ese disco). Para facilitar la lectura de los datos se utiliza una matriz que permite visualizar, si el jugador sigue una estrategia u otra y qué tan válidas son las jugadas. La tabla 3 muestra la distribución de los datos transferidos de las cláusulas.

Tabla 3. Visualización de jugadas en la torre de Hanoi.

Estado	Tiempo (c/5 minutos)	Comprensión		Ejecución		Inferencias	
		Variables*	Posición**	Movimientos	Valoración***	Estrategias	Valoración
1	10:15	1	3	1	1	1	1
2	10:20	2	2	2	1	2	1
3	10:25	1	2	3	0	1	0
4	10:30	1	1	4	1	1	1
5	10:35	2	3	5	1	2	1
6	10:40	1	3	6	0	2	0
7	10:50	3	2	7	1	3	1

Notas: *, discos; **, posiciones; ***, valoración posición disco.
 En las filas resaltadas, estrategia utilizada: 1, válida; 0, inválida.
 Fuente: elaboración propia.

La tabla 3 representa la base de conocimiento obtenida de las cláusulas derivadas de la interacción del jugador en el problema; esta matriz incluye los cambios de estado y los tiempos de sucesión de las jugadas. Además, contiene la transformación de los datos, interpretados por el investigador a partir de las categorías de

análisis. Las valoraciones están determinadas a conveniencia del investigador. La reducción de los datos generaría conclusiones de si el jugador está bien enfocado en la solución del problema o está equivocado. Esta discusión nos permitiría identificar patrones de las actuaciones del individuo en un proceso de aprendizaje. El ejemplo anterior probablemente, puede ser transferido a situaciones de aprendizaje en contextos educativos, susceptibles de ser modeladas computacionalmente.

Interpretación de fenómenos significativos y definición de patrones en la realización de una tarea de aprendizaje

La tarea de identificar patrones se basa en esquemas de codificación interpretados de acuerdo con el interés del investigador, ya sea para probar hipótesis, identificar estrategias utilizadas por el aprendiz en la ejecución de una tarea de aprendizaje o falencias en el proceso de aprendizaje. Un patrón está determinado por una secuencia de actividades cognitivas que reflejan el comportamiento de un aprendiz en un proceso de aprendizaje. La validación de un patrón depende de un marco de referencia teórico. La disposición de una secuencia de actividades, delimitadas por una actividad objetivo y una actividad intermedia denominada de criterio determinan un patrón (Hughes y Parkes, 2003); esto se evidencia en las acciones repetitivas formalizadas en una normalidad por parte del aprendiz. La frecuencia y secuencialidad de los tipos de acciones tipifican un patrón de comportamiento en tareas de aprendizaje (Vans, Von Mayrhauser y Somlo, 1999). El conjunto de patrones define la ruta seguida por una persona en una actividad de aprendizaje. La transición entre patrones marca las etapas abordadas por los sujetos cuando intentan alcanzar una meta (Arunachalam y Sasso, 1996). Estos pasos delimitan las fases de un modelo.

Los esquemas de codificación están basados en el modelo de la tarea de aprendizaje (Hughes y Parkes, 2003), se configuran en una plantilla para rastrear los datos e identificar los patrones (Sanabria, 2015). Esta estructura corresponde a un formalismo que mapea los procesos seguidos en la tarea de aprendizaje, los comportamientos del aprendiz a través de sus acciones, el conocimiento que maneja y las características del ambiente de aprendizaje. Una forma de representar su notación es a través de reglas de inferencia. Un esquema de codificación se construiría a partir de literatura de investigación en cognición y educación, de las hipótesis planteadas por un investigador, del dominio de conocimiento derivado de la tarea de aprendizaje (Chi, 1997). A continuación, se muestra un esquema de codificación para explorar el comportamiento de un lector, el ejemplo está basado en la caracterización de la fijación y movimiento de los ojos de esta persona (Nilsson y Nivre, 2009).

$$\begin{aligned} \text{leer_texto (F)} &:- \text{secuencia_fijación(F, } x_1, \dots, x_n), \\ &\quad \text{tiempo_fijación (F, X),} \\ &\quad \text{palabras_reconocidas (F, Y),} \\ &\quad \text{secuencia_palabras_reconocidas (F, } w_1, \dots, w_n), \\ &\quad \text{movimiento_ojos (F, avance, regreso)} \end{aligned}$$

El esquema de codificación basado en la experiencia de Nilsson y Nivre está conformado por cinco categorías: la secuencia de fijación en las palabras, el tiempo de fijación en la lectura, el número de palabras leídas reconocidas, la secuencia de palabras reconocidas, los movimientos sacádicos de los ojos determinados por el movimiento de izquierda a derecha (*avance*) y de derecha a izquierda (*regreso*). El esquema anterior generaría un patrón para reconocer falencias y progresos en el aprendizaje de la lectura. Su interpretación se basa en el análisis de datos numéricos para identificar secuencias de palabras leídas, número de palabras reconocidas, entre otros; estas características serían una aproximación para diagnosticar el modelo de un nivel de comprensión del lector.

Modelación e inferencia del proceso cognitivo en una tarea de aprendizaje

La modelación es un proceso de abstracción de características comportamentales de los individuos en una tarea de aprendizaje. El análisis de patrones identificados determina las etapas de un modelo. Un modelo puede ser representado por datos estadísticos, ecuaciones matemáticas, algoritmos, diagramas, redes semánticas, grafos dirigidos o lógica difusa (Chi, 1997; Sun, 2008). Un modelo depende de los fenómenos capturados sobre un proceso (Sun, 2009). El modelamiento cognitivo es una de las etapas del proceso de aprendizaje, pues captura los procesos mentales del aprendiz. La implementación de un modelo del proceso de aprendizaje se constituye en una arquitectura cognitiva computacional (Sun, 2016), tal como se describe al principio de este capítulo. Una arquitectura cognitiva se conformaría de estructuras relevantes, módulos y relaciones entre ellos, entre otros elementos que harían parte de este sistema (Sun, 2009). Una instancia de una arquitectura cognitiva consistiría en la representación de uno o varios procesos cognitivos, útiles en la modelación de un ambiente de aprendizaje computacional que incluye andamiajes, módulos de dominio de conocimiento dispuestos en sistemas ontológicos y módulos de realimentación conectados a través de interfaces para facilitar la interacción del usuario. El proceso de modelamiento se explica como una representación de la interacción entre conocimiento declarativo y conocimiento procedural para identificar las habilidades a través de las acciones del aprendiz (procesos cognitivos implícitos) y los conceptos y conocimientos del entorno (procesos cognitivos explícitos) evidentes en la verbalización y las formas de representación del individuo (Anderson, Matessa y Lebiere, 1997; Sun, Merrill y Peterson, 2001).

Uno de los métodos aproximados, utilizados para modelar su comportamiento en un proceso de aprendizaje, es la técnica de modelamiento conocida como *mapas cognitivos difusos* que consiste en la representación de modelos mentales basados en estructuras de grafos (Kosko, 1986). Los grafos dirigidos consisten en nodos que representan variables, conectados por flechas direccionadas de acuerdo con la influencia de una variable con respecto a otra. Las flechas son identificadas por etiquetas que contienen los valores que asumen los pesos conforme al grado de influencia de la variable de origen. Los mapas cognitivos difusos modelan la forma como funciona un sistema a través de la definición de componentes (conceptos, entidades, estados) y relaciones causales entre los mismos (Jetter y Kok, 2014). Las relaciones causales pueden ser parametrizadas por porcentajes dependiendo del grado de influencia, ya sea positivo o negativo, sobre cada uno de los componentes. Los valores que asumen estas relaciones varían de 0 hasta 1, lo que equivale al 100 % de influencia positiva de un componente a otro y 0 hasta -1 que equivale a un 100 % de influencia negativa entre componentes. La regulación de los pesos de influencia (porcentajes) dependen de la experiencia del investigador. Para ayudar al investigador en la tarea de modelamiento, existe *software* en línea, como el programa *mental modeler*,¹ que permite la diagramación de estos modelos.

En función de ver un ejemplo, analizado a partir de la técnica anterior, se retoma una parte de la transcripción de un segmento de la torre de Hanoi, correspondiente a un individuo.

Pensé en la estructura de las torres después que comencé a jugar. Me pregunte a mí mismo ¿qué estoy haciendo? Empecé a jugar y luego pensé. Me di cuenta de que esto comenzó a ayudarme y fue entonces cuando empecé a avanzar en el juego. Cuando uno se encuentra en dificultad para poder comprender el juego, uno inicia a jugar de manera instintiva. De esta forma he estado jugando, con la excepción de algunos caminos que he logrado reconocer. (Desconocido)

1 Disponible en <http://www.mentalmodeler.org/#home>

La codificación en lógica de predicados de este párrafo permite obtener la siguiente cláusula:

$\text{avanzar}(A, \text{juego}) \text{ :- iniciar}(A, \text{juego}), \text{pensar}(A, \text{juego})$

La cláusula anterior representa una regla del pensamiento de la persona que está jugando. Al hacer una interpretación del segmento que representa el comportamiento de este individuo se puede inferir que al principio la persona inicia jugando de manera instintiva, sin conocimiento de estrategia alguna en particular. A medida que sigue jugando y ve el resultado, el sujeto descubre algún camino de solución de manera explícita. El análisis sugiere un aprendizaje procedimental implícito y una explicación gradual del conocimiento aprendido implícitamente.

Una forma ideal de avanzar en el juego se daría, primero, pensando en el contexto del juego y, luego, iniciar el juego. Si se representa la cláusula anterior en forma ideal, se puede observar que el orden de las actuaciones cambiaría.

$\text{avanzar}(A, \text{juego}) \text{ :- pensar}(A, \text{juego}), \text{iniciar}(A, \text{juego})$

Utilizando la técnica de mapas cognitivos difusos, se obtienen los siguientes modelos:

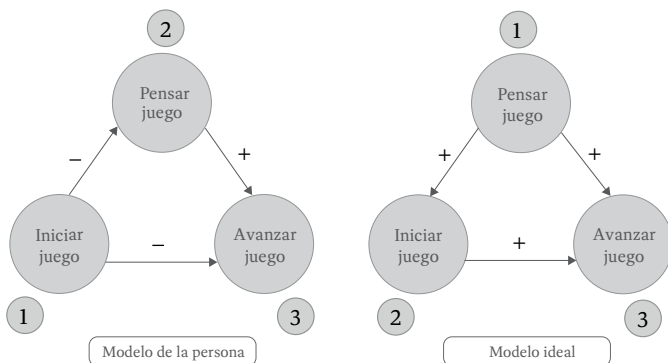


Figura 4. Mapa cognitivo difuso de una persona comparado con un modelo ideal.

Fuente: elaboración propia.

En la figura 4, el modelo real obtenido de la persona representa tres acciones que se conectan con relaciones causales negativas y positivas. El primer estado, “iniciar el juego” tiene dos relaciones negativas que indican que esta persona actúa de manera instintiva sin ningún conocimiento, lo cual indica que iniciar un juego sin conocimientos influye de manera negativa en el avance y, por consiguiente, existe una relación de causalidad negativa con respecto a “pensar en el juego”. Si se considera una forma de actuar que conduzca a una estrategia exitosa, primero se contempla “pensar en el juego” para luego “iniciar el juego” y así poder “avanzar en el juego”, tal como se indica en el modelo ideal, lo cual indica que antes de jugar existiría un conocimiento implícito aprendido que luego se pone a prueba de manera procedimental (Sun *et al.*, 2001).

Otro ejemplo de la transcripción de un segundo segmento de un jugador en la torre de Hanoi muestra un modelo de las jugadas que realiza esta persona.

Paso el disco1 de la torre 2 a la torre 2... me devuelvo y cojo el otro disco... y lo paso a la torre 3. Me devuelvo y paso el siguiente disco a la torre 2. Ah, cierto que la regla me dice que no debo poner un disco grande sobre uno pequeño, entonces me toca desocupar la columna 2 para colocar este disco. Entonces paso el disco 1 a la torre 3 y, luego, paso el disco 3 a la torre 2. Me moví de un lado a otro, no entendía qué hacer. Estaba confundido... No sé cómo he jugado. (Desconocido)

En lógica de predicados, el segmento anterior queda formalizado por dos cláusulas:

jugar(A):- pasar(A,d₁,t₂), pasar(A,d₂,t₃), pasar(A,d₃,t₂)
 desocupar(A, t₂):- pasar(A,d₁,t₃), pasar(A,d₃,t₂)
 donde, *d* representa los discos (1,2,3) y *t* las torres (1,2,3).

El modelo que representa este segmento establece una serie de relaciones causales, una negativa y otras positivas que indican un error y varios aciertos.

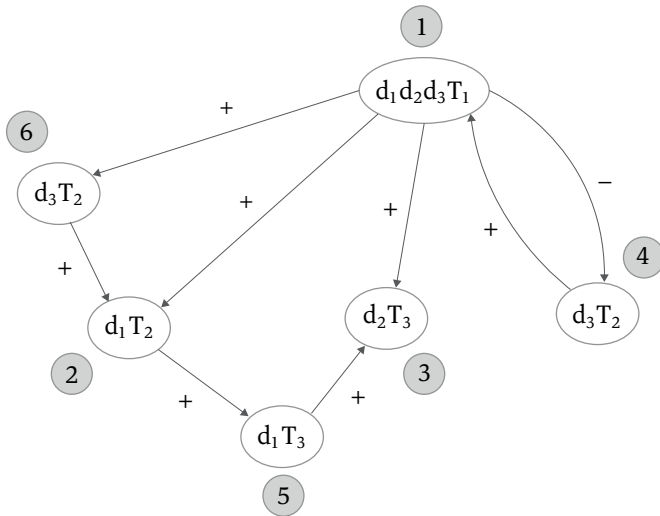


Figura 5. Mapa cognitivo difuso derivado de la torre de Hanoi.

Fuente: elaboración propia.

La figura 5 muestra el modelo de un jugador que realiza varios movimientos y comete una equivocación en uno de sus movimientos. Se infiere de la representación que la persona en un primer momento se dedica a realizar una serie de movimientos, al parecer, sin tener un conocimiento declarativo (conceptual) explícito. Posteriormente descubre algún tipo de conocimiento conceptual que le permite realizar movimientos más acertados de manera procedimental implícita. Lo anterior indica una interacción entre el conocimiento declarativo explícito y el conocimiento procedimental implícito, lo cual permite deducir que el jugador requeriría realimentación de manera explícita para seguir avanzando (Sun, 2016; Sun *et al.* 2001). Según este resultado se pensaría en el diseño de un andamiaje computacional que ayude en esta tarea. Los anteriores ejemplos son aproximaciones que dan un acercamiento para ser transferido a otros problemas de aprendizaje.

Síntesis del capítulo

La adquisición de información del comportamiento humano que proviene de diferentes fuentes, no solamente se usa para probar hipótesis, comprender fenómenos, validar modelos teóricos o facilitar la toma de decisiones, también sería útil en el diagnóstico de problemas de aprendizaje, el modelamiento de estrategias de aprendizaje, entre otros. Existen diferentes formas de canalizar información de las acciones cognitivas de un aprendiz en el aprendizaje de habilidades, aun teniendo en cuenta que el conocimiento implícito (tácito) derivado de la experiencia es más difícil de obtener, mientras que el conocimiento explícito (declarativo) se facilita para su representación. De acuerdo con esto, el conocimiento implícito se procesa a través de redes neuronales, mientras que el conocimiento explícito es capturado y representado de manera simbólica a través de redes conceptuales y sistemas significativos basados en reglas (Sun, 2016). En esta dimensión, se consideran dos maneras de rastrear información sobre el comportamiento de una persona cuando realiza una tarea de aprendizaje. Una es el rastreo inferencial o perceptivo que permite canalizar información implícita de señales comportamentales del individuo como señales propioceptivas, gesticulación, movimiento de algunas partes de su cuerpo, entre otras. Otra manera es el rastreo de información explícita, expuesta de diferentes maneras por el individuo, ya sea a través de verbalización o representación simbólica.

Precisamente, este capítulo intenta mostrar un panorama en el que se utilizan las dos formas de canalizar la información. Su contenido está orientado al uso de mecanismos simbólicos basados en métodos cualitativos para rastrear, analizar y modelar información de las acciones de los aprendices en la realización de tareas de aprendizaje, sin desconocer formas más complejas de obtener y analizar información como las redes neuronales y la minería de datos *big data* que se proyectan como objeto de estudio a futuro. El sincronismo de los datos provenientes de diferentes fuentes sugiere la utilización de metodologías de triangulación que combinan la información para producir resultados más precisos y concluyentes.

En esta medida, es necesaria la experticia del investigador que recauda y analiza la información del comportamiento de un aprendiz para recomendar el tipo de ayuda o realimentación que se encamine a la adaptación de su propio ambiente de aprendizaje.

La tarea consiste en adaptar los modelos pedagógicos y los ambientes de aprendizaje a los patrones resultantes del análisis del proceso de aprendizaje. La información recaudada del análisis alimenta el modelo de comportamiento del aprendiz con el cual se diseñarían estrategias de aprendizaje para ser moldeadas como sistemas interactivos en ambientes computacionales. Los resultados de estos modelos serán utilizados en la elaboración de interfaces incluidas en ambientes de aprendizaje que se adaptan a las necesidades educativas de los individuos. En síntesis, se trata de mapear las acciones cognitivas del estudiante para modelar su comportamiento en una tarea de aprendizaje e identificar información sobre falencias y aciertos en su aprendizaje que sirvan como insumo para el modelamiento e implementación de estrategias pedagógicas en ambientes computacionales que realimenten su proceso de aprendizaje.

Capítulo 4

Ambientes de aprendizaje apoyados en recursos digitales

El diseño de un ambiente de aprendizaje consiste en la construcción de representaciones derivadas de los modelos mentales (cognitivos) de las personas. El diseño consiste en especificar un artefacto a través de la representación. Una representación es una entidad externa creada por las personas para generar un artefacto físico (p. ej., máquina) o simbólico (p. ej., *software*) (Visser, 2006). La externalización de un modelo mental se transforma en un artefacto material cognitivo, representado en diagramas, modelos, maquetas, entre otros. Un artefacto utilizado en actividades cognitivas como el aprendizaje es el *software* (programa de computador). En el contexto computacional un ambiente de aprendizaje es una construcción semántica que articula diferentes componentes para establecer una línea de interacción con el aprendiz. La arquitectura de un ambiente de aprendizaje computacional se origina en una estructura ontológica que representa la topología de un sistema basado en conocimiento. La estructura fundamental de un ambiente de aprendizaje es su configuración formada por una variedad de recursos, organizados de manera semántica. Este tipo de organización del conocimiento se aproxima a un modelo constructivista representado por ambientes computacionales estandarizados en un hipermedia. Un sistema hipermedial es un

ambiente abierto que facilita la conexión e interacción con otros nodos, conformando redes que son alimentadas por sus respectivos nodos. En este sentido, un ambiente de aprendizaje hipermedial es un sistema estructurado en un modelo ontológico, en el que se derivan nodos interconectados, que forman un sistema de navegación para acceso a diferentes recursos alojados en cada nodo: interfaces, textos, sonidos, gráficos, animaciones, videos e imágenes. El ambiente hipermedial más grande es la *World Wide Web* (www), cada nodo lo conforma una página web que se conecta con otras páginas en todo el mundo (Jonassen, 2006). Este tipo de ambientes abiertos, diseñados como escenarios de aprendizaje, sostienen cualquier transformación en la medida en que permiten vincular diferentes recursos que se articulan a la estructura ontológica para funcionar de manera dinámica bajo el control del aprendiz.

A partir de experiencias en investigación con diferentes escenarios desarrollados en el grupo Cognitek y basado en estudios y planteamientos teóricos de varios autores sobre ambientes de aprendizaje hipermedial, ambientes de aprendizaje sobre solución de problemas, ecosistemas de aprendizaje, entre otros (Maldonado, Fonseca, Ibáñez, Macías, Ortega, Rubio y Sanabria, 1999; Maldonado, Ortega, Sanabria y Macías, 2001; Sanabria, Ibáñez y Valencia, 2015; Sanabria y Macías, 2006; Siemens, 2003), se propone un marco conceptual para la configuración de un ambiente de aprendizaje computacional (figura 6), simulando un ambiente de aprendizaje natural (Azevedo y Jacobson, 2008; Dillenbourg y Jermann, 2010; Jonassen, 2006; Shapiro, 2008; Shapiro y Niederhauser, 2004; Dillenbourg, Schneider y Synteta, 2002). El ambiente de aprendizaje se sustenta en teorías constructivistas y objetivos educacionales. Este entorno está soportado en una estructura semántica (ontología) que serviría para modelar las acciones del estudiante, las estrategias pedagógicas del profesor y el dominio de conocimiento. El entorno se integra por una serie de recursos informacionales (texto, video, simulaciones, imágenes, gráficos, sonido, entre otros), recursos colaborativos a través de la

modelación de agentes pedagógicos artificiales, recursos de aprendizaje (tareas, solución de problemas, estrategias de evaluación, mensajes interactivos, entre otros), recursos tecnológicos y de inteligencia artificial (interfaces de comunicación y conectividad, sistemas de realimentación, robótica, realidad aumentada, entre otros). Existen varios sistemas que componen el ambiente de aprendizaje, entre ellos se mencionan: un sistema de navegación que le facilita al aprendiz acceder a diferentes páginas y recursos de manera no-lineal (p. ej., acceso a la web) (Puntambekar y Stylianou, 2005); un sistema de comunicación que facilita la interacción entre el aprendiz y otros agentes tanto humanos (profesor, pares) como artificiales (agentes pedagógicos); un sistema de ayuda para conectar al aprendiz a través de recursos de apoyo relacionados con la tarea de aprendizaje (textos, videos, simulaciones, problemas resueltos, entre otros), este sistema incluye el uso de andamiajes de diferentes tipos (metacognitivos, procedimentales, conceptuales); una serie de actividades de aprendizaje enmarcadas en juegos, solución de problemas, comprensión de información, interacción con modelos gráficos, entre otros; un espacio de interacción considerado el espacio de trabajo del aprendiz, en el que tiene la posibilidad de utilizar los recursos, explorar para encontrar información, interactuar con sus pares y otros agentes, pedir ayuda, preguntar y responder, resolver problemas, entre otras acciones.

La estructura en general del ambiente de aprendizaje conforma una ontología que representa cada uno de sus componentes, esto generaría una plantilla en la que se configuran los elementos necesarios en un proceso de aprendizaje. Más adelante se presenta un ejemplo de las interacciones de cada componente en el ambiente de aprendizaje.

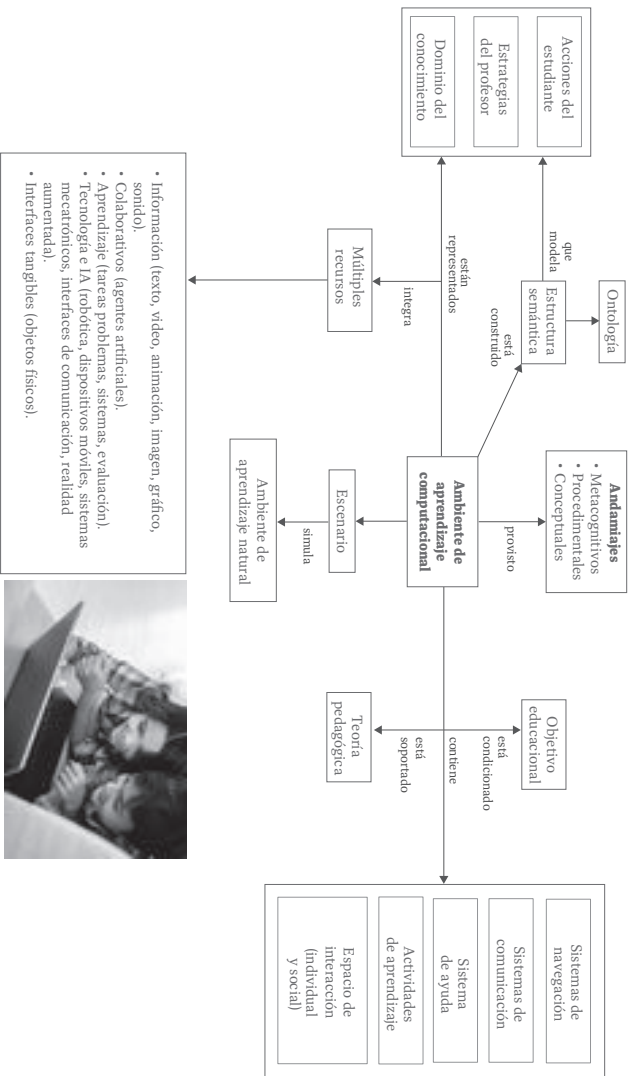


Figura 6. Componentes de un ambiente de aprendizaje computacional.
Fuente: elaboración propia.



La conformación de ambientes de aprendizaje computacional vincula teorías cognitivas de aprendizaje. Estas teorías están enmarcadas en varias corrientes pedagógicas. A continuación, se describen algunas instancias relacionadas con el conductismo, el constructivismo, el cognitivismo, las más influyentes escuelas en el desarrollo de los ambientes de aprendizaje apoyados en tecnologías digitales. En primer lugar, se describe el conductismo como una teoría de aprendizaje comportamental, en la que la observación del comportamiento y el condicionamiento a través de estímulos se retroalimenta con una forma de refuerzo (Shunk, 2004). Según esta teoría, existe una relación funcional entre el estímulo dado al comienzo del proceso de aprendizaje (instrucción), la respuesta del aprendiz y el estímulo que realimenta esta respuesta. De esta forma, el aprendiz se considera como un agente pasivo que reacciona a estímulos de otros agentes naturales (profesor) y artificiales (materiales instruccionales). El aprendizaje de esta persona se evidencia como un cambio de comportamiento debido a las capacidades desarrolladas durante el proceso (Burton, Moore, y Magliaro, 2004). En el conductismo es relevante la manipulación de tareas en prácticas como el aprendizaje dirigido, la instrucción programada y, en el contexto tecnológico, la instrucción asistida por computador, que incluye un ingrediente relacionado con elementos multimediales (Johnson, 2014). El proceso seguido en cada una de estas formas de aprendizaje es idéntico, en la medida en que se proporcionan materiales de enseñanza para que el estudiante reaccione respondiendo a preguntas relacionadas con los temas propuestos y reciba retroalimentación condicionada a sus respuestas a través de prácticas repetitivas (Burton *et al.*, 2004). En esta forma de aprendizaje, los estudiantes completan secuencias instruccionales para alcanzar sus objetivos de aprendizaje y el computador funciona como un instrumento de control de este proceso (Hannafin, Hannafin, Hooper, Rieber y Kini, 1996; Poggioli, 1994). El conductismo ha dejado aportes importantes en el desarrollo de ambientes de aprendizaje computacional en la forma como se presenta el aprendizaje de manera sistematizada y estructurada, como en el caso de los ambientes en línea (*online*) y en el enfoque de los tutores inteligentes (Sosa, Berger, Saw, y Mary, 2011).

Una segunda teoría de aprendizaje es el constructivismo fundamentado en una mayor influencia del aprendiz y el entorno social en su desarrollo cognitivo. En este contexto, el aprendiz es un agente activo que construye su propio conocimiento (Girvan y Savage, 2010). Teóricos como Vygotsky (1978) plantean el constructivismo como un proceso social, en el que el aprendizaje y el desarrollo cognitivo se logra a partir de la interacción con otros agentes; por su parte, Piaget (1970), formula el constructivismo cognitivo a partir del desarrollo del individuo, así, la madurez de su cerebro y la experiencia consolidan su desarrollo cognitivo. La influencia del constructivismo en los ambientes de aprendizaje computacional ha permeado la forma como los aprendices resuelven problemas e interactúan en juegos de descubrimiento, videojuegos diseñados alrededor de problemas bien estructurados, estos son considerados como *atractores de espacios de afinidad* para el desarrollo del aprendizaje (Gee, 2017). En estos entornos, el aprendiz participa en procesos constructivos de conocimiento, su rol activo le permite utilizar los diferentes recursos y medios que ofrecen las tecnologías. Con la actividad del aprendiz, la construcción de conocimiento se habilita a partir de la integración de conocimiento previo a la producción de nuevo conocimiento. La práctica pedagógica está orientada a apoyar la búsqueda de significado y al aporte de recursos interactivos manipulables por los educandos (Duffy y Jonassen, 1991; Jonassen, 2000; Perkins, 1991).

La tercera teoría abordada es el cognitivismo, fundamentado en el estudio del aprendizaje humano a partir del procesamiento de información que ingresa por los sentidos y se transforma en la memoria, modificando las estructuras mentales y procesos cognitivos de la persona (Eggen y Schellenberg, 2010; Schunk, 2004). La corriente cognitivista asume la adquisición y utilización de conocimiento y habilidades a partir de procesos cognitivos como la atención, la percepción, la memoria, la solución de problemas, la toma de decisiones, la metacognición y la autorregulación (Shunk, 2004; Wang y Wang, 2002). En el cognitivismo, el desarrollo del aprendizaje se basa en las experiencias vividas por el individuo, lo que Sun (2016) denomina un proceso de interacción

de conocimiento de abajo hacia arriba (*Bottom-Up*), que parte de la experiencia del individuo hasta lograr construir nuevo conocimiento en su aprendizaje. En este sentido, Roger (2005) asume que el aprendiz es un constructor activo de significado a partir de la información de sus experiencias pasadas que se transfiere por sus sentidos. El cognitivismo ha estado estrechamente relacionado con la comprensión del aprendizaje y el desarrollo de ambientes de aprendizaje interactivo (Jhonson, 2014). Algunas instancias de estos ambientes interactivos apoyados en tecnologías digitales están relacionadas con los ambientes computacionales enfocados a la solución de problemas, los ambientes en línea para el desarrollo de habilidades metacognitivas y de autorregulación, el uso de internet, entre otros (Azevedo y Hadwin, 2005; Kim y Hannafin, 2011; Kramarski y Michalsky, 2010; Winters, Greene y Costich, 2008).

Modelación del aprendiz en un ambiente de aprendizaje

El modelamiento del aprendiz implica hacer un diagnóstico de sus habilidades, sus actitudes, su estado afectivo, su conocimiento previo, su estilo cognitivo, su adaptabilidad al ambiente, sus preferencias, sus metas de aprendizaje, su motivación y su capacidad de autorregulación (Brusilovsky y Millan, 2007; Niederhauser, 2008; Zimmerman, 2008); estas características son evidentes a través de sus acciones y comportamientos cuando interactúa en una tarea de aprendizaje. Debido a los volúmenes de datos y al tipo de interacciones que suceden durante un proceso de aprendizaje, se hace difícil y costoso analizar manualmente la información recaudada de las acciones del aprendiz (Paiva, Bittencourt, Tenório, Jaques y Isotani, 2016). No obstante, los métodos y la tecnología que existen para el análisis de estos volúmenes de información son un avance importante en la determinación precisa del comportamiento del aprendiz (p. ej., minería de datos educativos, *Educational data mining* [Baker, 2011], o analíticas de aprendizaje, *Learning Analytics* [Siemens, 2013]).

Con el fin de buscar procesos más maleables para los investigadores educativos que intentan modelar las conductas del estudiante en un proceso educativo, el capítulo anterior presenta una descripción de un método teórico para predecir el comportamiento del aprendiz, de tal forma que se puedan identificar y modelar sus interacciones de manera aproximada, generando un perfil de sus interacciones relevantes con la tarea de aprendizaje. Esta técnica de observación e inferencia permite encontrar información dispuesta en patrones y modelos generales, útiles en el diseño de estrategias de aprendizaje incorporadas en ambientes hipermediales. En este sentido, la información recaudada durante el modelamiento sirve, en primer lugar, para planear los recursos, las estrategias pedagógicas, los andamiajes y el conocimiento que el aprendiz requiere en su proceso de aprendizaje; y, en segundo lugar, para experimentar con estos ambientes con el fin de probar teorías de aprendizaje en la realización de tareas cognitivas. Con esto se busca evaluar y validar la utilidad de las diferentes interfaces incorporadas en un ambiente computacional e inferir el nivel cognitivo del aprendiz para proporcionarle el apoyo y la realimentación necesarios para mejorar su logro académico (Johnson y Taatgen, 2005). La construcción de estos modelos de ayuda requiere el uso de inteligencia artificial para generar sistemas interactivos que rastreen la información de las actividades en el ambiente y provean apoyo y orientación durante el proceso de aprendizaje. Algunos ejemplos de estos sistemas son los agentes pedagógicos y los andamiajes inteligentes.

Uno de los indicadores del modelo del aprendiz es la modelación de su conocimiento previo (Kay, 1995). El siguiente ejemplo basado en el modelo de usuario de Kay, muestra una jerarquía de conceptos del dominio de un sistema productivo, representados en una red semántica sobre el modelo del aprendiz (figura 7). Esta representación se somete a prueba del aprendiz, quien revisa la ontología del dominio y señala los nodos rellenando los círculos de los conceptos conocidos por esta persona. El modelo del aprendiz está representado por los círculos rellenos que indican qué conceptos maneja el individuo y los nodos que aparecen en blanco (nodos

que no fueron rellenos por el aprendiz). Con los nodos en blanco se infiere en qué conceptos el individuo requiere ayuda; para ello sería necesario diseñar una estrategia pedagógica, con el fin de dar realimentación a lo que no sabe el aprendiz.

En la figura 7 se representan las dos partes del modelo del aprendiz: conceptos conocidos y conceptos desconocidos. Al transferir este modelo a un mapa cognitivo difuso, asignándole valores positivos (+) al conocimiento previo del aprendiz y valores negativos (-) al conocimiento que le falta aprender se infiere de manera probabilística el porcentaje de conocimiento que le faltaría para completar su tarea de aprendizaje. La figura 8 representa el porcentaje de conocimiento que tiene la persona y el porcentaje de conocimiento que le falta aprender. La valoración de cada nodo indica el peso obtenido por el aprendiz sobre el conocimiento de los conceptos (p. ej., +0,8 indica el peso asignado al conocimiento de la persona sobre un concepto, mientras que una valoración de -0,8 indica el peso asignado cuando se desconoce el concepto). Estos valores aproximados se pueden obtener de inferencias dadas por los investigadores o profesores en relación con las aptitudes de los individuos, utilizando lógica difusa. Por ejemplo, un investigador daría una valoración sobre el aprendizaje de un concepto, según las relaciones con otros conceptos (nodos) que establezca el individuo sobre este concepto, lo cual indicaría el nivel de precisión sobre su respuesta. Los siguientes valores determinan la escala de pesos: muy bajo, “-1”; bajo, “-0,6”; justo, “0,5”; alto, “0,6”; muy alto, “0,8”; excelente, “1”. El promedio de los pesos positivos $V_{(+)}$ y negativos $V_{(-)}$ asignados determina el nivel de conocimiento previo que la persona posee y el nivel de conocimiento que le falta para alcanzar su logro de aprendizaje.

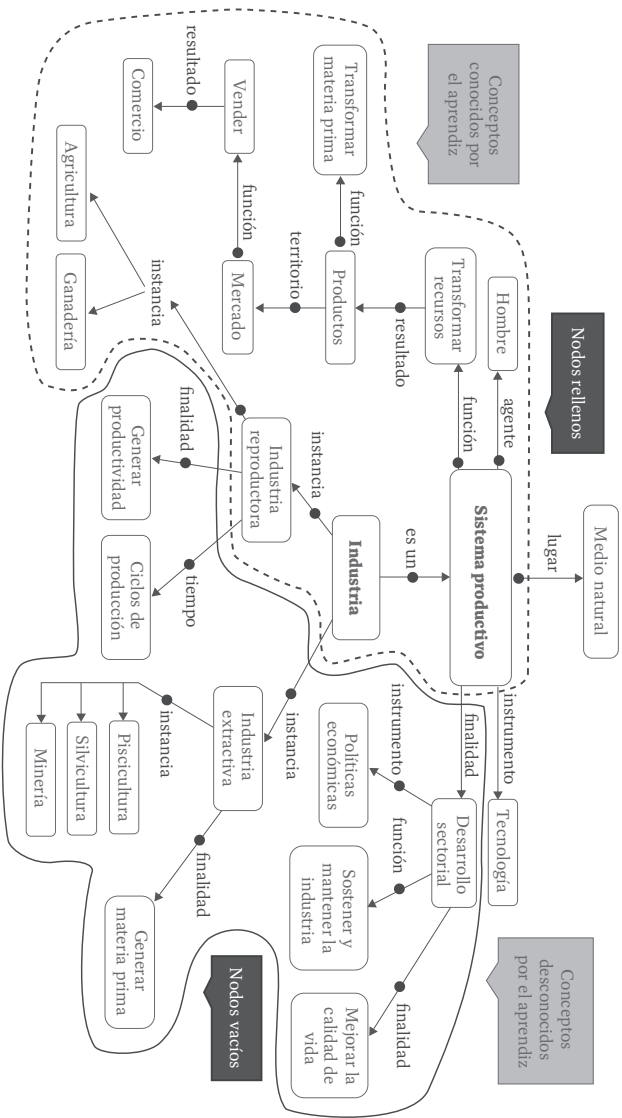


Figura 7. Ejemplo de la obtención del modelo del aprendizaje.

Fuente: elaborado a partir de una representación ontológica de Maldonado, Ortega, Sanabria y Macías (2001).

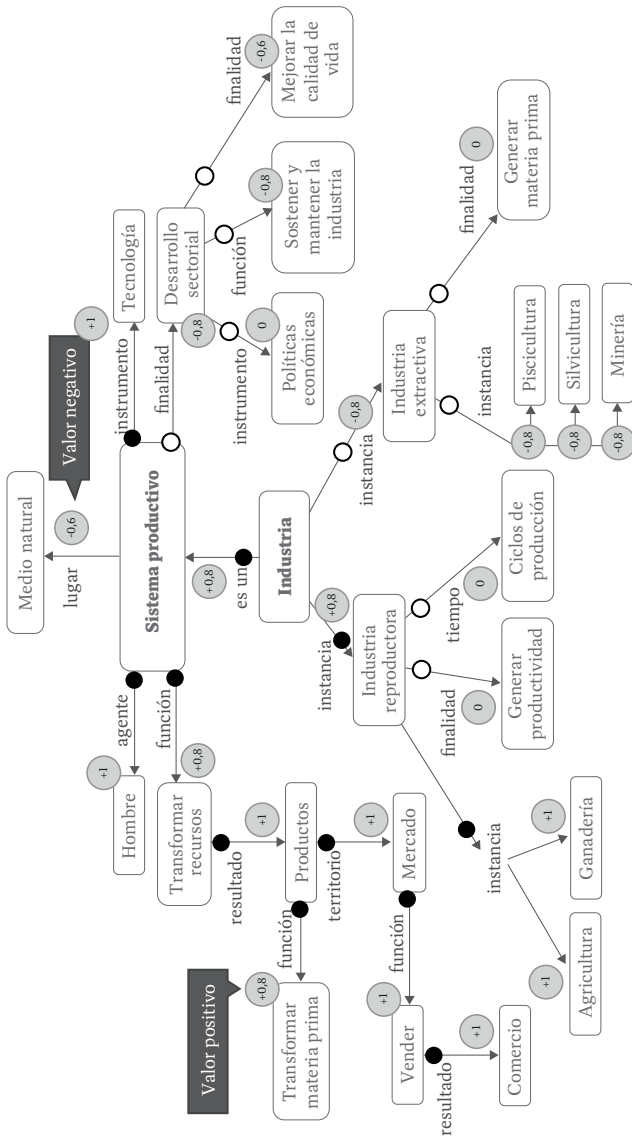


Figura 8. Modelo cognitivo difuso con inclusión de valores probabilísticos.
Fuente: elaborado a partir de una representación ontológica de Maldonado, Ortega, Sanabria y Macías (2001).

$$\sum V_{(+)} = 1+(0,8)+(0,8)+1+1+1+(0,8)+1+1+(0,8)+1+1 = 11,2$$

$$C_p = 11,2/12 = 0,93$$

$$\sum V_{(-)} = (-0,6)+(-0,8)+(0)+(-0,8)+(-0,6)+(-0,8)+(-0,8)+(-0,8)+(-0,8)+(0)+(0)+(0) = 6$$

$$C_f = 6/12 = 0,5$$

El peso de conocimiento previo C_p que posee el aprendiz es equivalente a 0,93, mientras que el peso de conocimiento faltante C_f en su aprendizaje equivale a 0,5. Al ajustar estos valores a porcentajes, se obtendría lo siguiente:

$$P_t = C_p + C_f = 0,93 + 0,5 = 1,43$$

$$C_p = (0,93 \times 100) / 1,43 = 65,03 \%$$

$$C_f = (0,50 \times 100) / 1,43 = 34,97 \%$$

El resultado indica que el aprendiz conoce del tema un 65,03 %, mientras que su desconocimiento estaría en un 34,97 %. Estos indicadores permiten inferir la necesidad de refuerzo o ayuda en los conceptos desconocidos para avanzar en el aprendizaje del individuo.

El ejemplo anterior es una aplicación simple de una parte de modelamiento del aprendiz, su conocimiento sobre la tarea que complementa el capítulo anterior. Existen otras características del aprendiz sujetas de modelamiento a partir de ontologías o con técnicas avanzadas (*big data*) como su estado afectivo, su estilo cognitivo, su capacidad de autorregulación, sus objetivos de aprendizaje, entre otros.

Modelación de conocimiento en un ambiente de aprendizaje

La representación de conocimiento en un ambiente de aprendizaje depende de la relación entre el dominio de la tarea de aprendizaje y los conocimientos requeridos por el estudiante para desarrollar sus habilidades. El dominio de la tarea es una representación de conceptos y relaciones transformados en textos, imágenes, diagramas, videos, sonido, entre otros. Su representación hace parte de una estructura ontológica que establece un mapa de navegación hipermedial.

Una ontología se visualiza como un artefacto de diseño, está definida como una especificación explícita de una conceptualización que describe la semántica de la información (Gruber, 1993). La ontología es una estructura integrada por conceptos y relaciones que representan la manera como la gente interpreta y comprende el mundo que lo rodea, habilitando un lenguaje comprensible para el computador (Isotani, Mizoguchi, Isotani, Capeli, Isotani, Albuquerque, Bittencourt y Jaques, 2013). En un ambiente de aprendizaje computacional, la ontología conforma una estructura central a través de una especificación de una red de conocimientos sobre los que se articulan de manera semántica diferentes componentes visuales y sonoros tales como gráficos, textos, videos, sonidos, entre otros. La ontología provee una comprensión compartida y común del conocimiento para establecer una comunicación entre las personas, los agentes artificiales y los computadores (Fensel, 2001).

Una ontología está representada a través de nodos, enlaces y ranuras. Los nodos representan clases de conceptos, entidades u objetos. Las clases se definen a través de la descripción de sus relaciones con otros nodos (subclases, propiedades). Los enlaces representan relaciones de subclase o instancia entre conceptos “es_un” y las ranuras representan propiedades de un concepto, entidad u objeto, son espacios o ventanas que albergan información de correspondencia “parte_de” o “atributo_de”.

Los nodos derivados de la relación “es_un” determinan una jerarquía o subyacen como objetos que heredan las propiedades de nodos superiores (clases) (Kozaki, Kumazawa, Saito y Mizoguchi, 2013; Maldonado *et al.*, 2001); en otras palabras, “es_un” representa la relación entre un nodo general y un nodo especializado (Kozaki, Hihara y Mizoguchi, 2011). El siguiente ejemplo (figura 9) muestra una ontología que utiliza la plantilla de representación basada en el ambiente de construcción y uso de ontologías denominado “hozo” (*Environment for Building/Using Ontologies*), diseñado por Kozaki, Kitamura, Ikeda y Mizoguchi (2002).

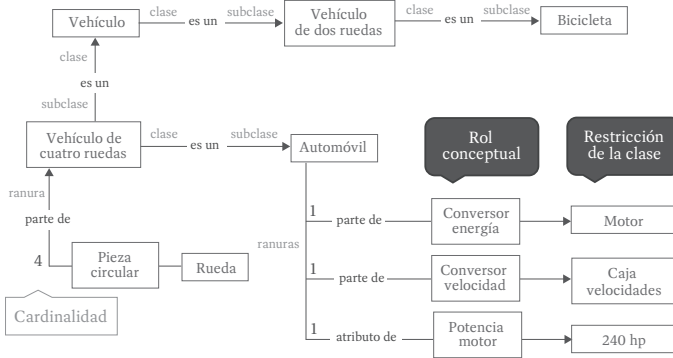


Figura 9. Ontología del dominio de los vehículos.

Fuente: basado en *Hozo*; Kozaki, Kitamura, Ikeda y Mizoguchi (2002).

El rol conceptual representa el papel que desempeña un objeto o entidad en un contexto (p. ej., el convertor de energía juega un rol en el contexto de producción de energía). La restricción de la clase está referida a la clase contenida por el rol conceptual o el valor que este asume de acuerdo con una clase especializada a la que pertenece (p. ej., el motor está restringido a la clase de generadores de energía). La cardinalidad está referida a un número de componentes de una ranura (p. ej., al referirnos a una parte del vehículo, a sus ruedas, su cardinalidad es “4”, porque un vehículo como el automóvil tiene cuatro ruedas).

Teniendo en cuenta que el ambiente de aprendizaje computacional es un sistema generado en una matriz ontológica, se describe un constructo teórico de este modelo a partir de la conformación de una ontología central que representa el modelo del aprendiz en el que se articulan otras ontologías que representan el modelo del dominio, el modelo pedagógico, los recursos, los mecanismos de interacción, entre otros. Una ontología de un ambiente computacional incluye una estructura de entidades, relaciones y funciones para representar: el modelo del aprendiz, las estrategias pedagógicas, el dominio de conocimiento, los mecanismos de interacción y la disposición de recursos de aprendizaje (Chen y Mizoguchi, 1999; Razmerita, Angehrn y Maedche, 2003) (figura 10).

El estudio desarrollado por Sanabria y Macías (2006) sobre la representación semántica de un ambiente de aprendizaje en la formación de docentes sirve de punto de referencia para representar un modelo teórico de la ontología general de un ambiente de aprendizaje computacional, en el que cada componente está representado por su propia ontología. La ontología del aprendiz es el centro de interacción con las demás ontologías que conforman el ambiente de aprendizaje. Esta fuente sirve como una forma de comunicación con las otras ontologías, transmitiendo información sobre los requerimientos del aprendiz. En cada interfaz se configuran los requerimientos de acuerdo con su especialidad (p. ej., los conceptos que el aprendiz necesita, los recursos requeridos para su actividad de aprendizaje, los sistemas de ayuda, entre otros), para integrarlos en un ambiente de aprendizaje, que forma el espacio de interacción del aprendiz. Este modelo está dispuesto en una red dinámica que evidencia una conexión del modelo del aprendiz con el modelo pedagógico, el dominio de conocimiento y los recursos para reconfigurar el ambiente de aprendizaje como un entorno en el que se interrelacionan todos los componentes del proceso de aprendizaje, adaptados a la exigencia del aprendiz en respuesta a una tarea de aprendizaje.

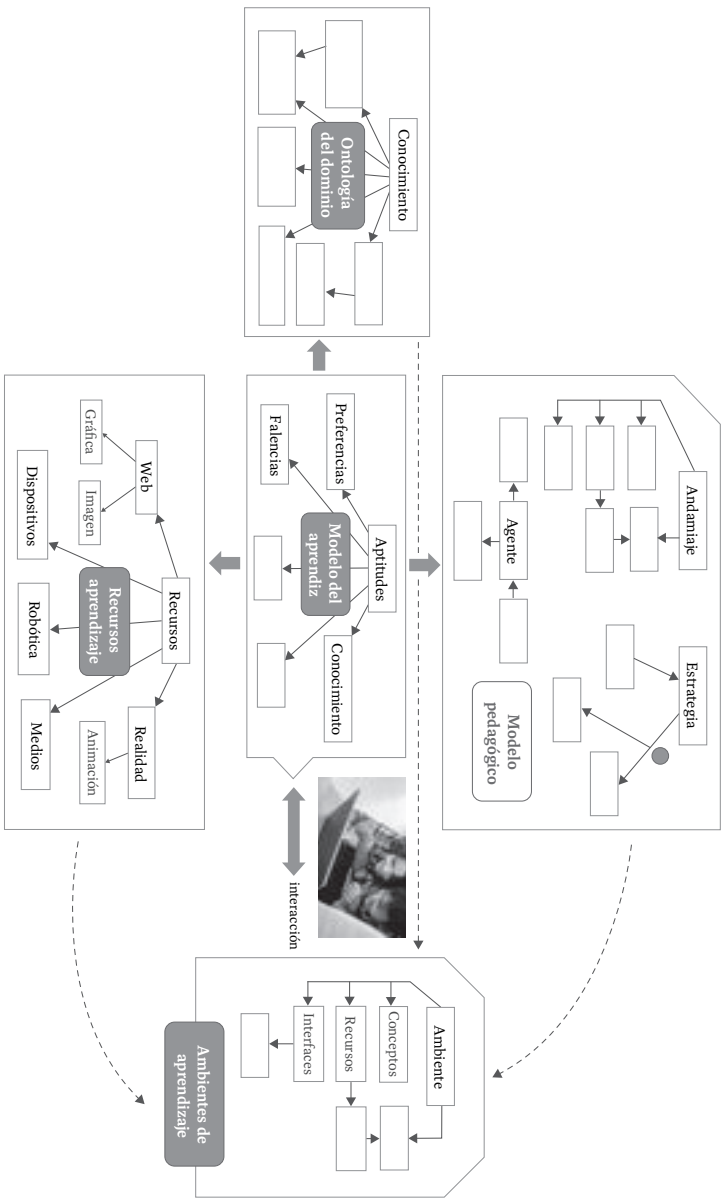


Figura 10. Ontología de un ambiente computacional.

Fuente: elaboración propia.

Modelación pedagógica

La pedagogía se considera dentro de un sistema participativo donde existe la interacción simétrica (bidireccional) del profesor y otros agentes con el aprendiz y el ambiente de aprendizaje en un proceso de negociación de significados para comprender el conocimiento auténtico (Murphy, 2009). El proceso de aprendizaje se activa cuando se da la interacción del aprendiz con otros agentes (el profesor y sus pares) y el entorno. La interacción surge a partir de la comunicación, en este proceso desempeña un papel importante el lenguaje. Según Vygotsky (1978) y Bruner (1986), el lenguaje y la comunicación están íntimamente ligados al proceso de aprendizaje. La pedagogía involucra diferentes formas de interacción para el desarrollo del aprendizaje, el desarrollo de habilidades, y el desarrollo de la educación y la cultura como un sistema regulador en la sociedad. Con el ingreso de las tecnologías informacionales se generan nuevos contextos para modelar la pedagogía.

Un modelo pedagógico se construye a partir de diferentes sistemas de interacción basados en una o varias corrientes pedagógicas y unos objetivos educacionales. En un ambiente computacional el modelo pedagógico intenta simular la actividad del profesor en un proceso de aprendizaje, estas acciones son modeladas utilizando la inteligencia artificial a través de estrategias pedagógicas, sistemas de ayuda a partir de andamiajes y sistemas de realimentación configurados en agentes pedagógicos. Las estrategias pedagógicas se establecen como estrategias cognitivas que orientan al aprendiz en el manejo conceptual, estrategias metacognitivas dirigidas a activar la reflexión sobre su propio conocimiento y estrategias instruccionales orientadas a dirigir el proceso de aprendizaje. Los sistemas de apoyo centrados en el andamiaje hacen parte de una estrategia pedagógica, configurada en una estructura que realimenta al aprendiz cuando este lo requiere. Estos puentes de comunicación se establecen en los niveles cognitivo, metacognitivo y procedural. Si observamos el origen de los andamiajes se recurre

a la teoría constructivista de Vygotsky (1978) y la tesis de Woods, Bruner y Ross (1976). Vygotsky define el andamiaje a partir de su teoría sobre la “zona de desarrollo próximo” como el espacio que existe entre el desarrollo actual de un aprendiz y el desarrollo efectivo que es alcanzado con el apoyo de un profesor o un par experto. Basados en estos principios, Woods *et al.* acuñan una definición más estructurada consistente en un “proceso que habilita a un aprendiz para solucionar una tarea o lograr una meta que estaría más allá de sus propios esfuerzos sin requerir ayuda” (p. 90). Con estas definiciones, un andamiaje consistiría en un sistema de soporte activado de manera regular hasta que los aprendices desarrollen sus competencias.

Sanabria, Valencia e Ibáñez (2017) construyen un andamiaje que sirve como prototipo para estudiar su efecto en el desarrollo de habilidades autorreguladoras en el aprendizaje de la matemática en un ambiente *b-learning* (figura 11). Este modelo consiste en un entorno que le permite al estudiante ingresar y realizar un diagnóstico sobre sus conocimientos referentes a la tarea que va a desarrollar. El módulo contiene los diferentes temas a estudiar y la posibilidad de valorar su nivel de conocimiento sobre cada uno de ellos. La valoración corresponde a un juicio metacognitivo e intenta medir la autoeficacia del estudiante para realizar la tarea en una escala de 1 a 10. Un segundo módulo está representado por una interfaz que le facilita al estudiante hacer una planeación del orden en que va a estudiar sus temáticas, el tiempo que va a dedicar al estudio (virtual y presencial), las estrategias a utilizar y las metas a lograr en su proceso de aprendizaje. Este sistema metacognitivo dirige al estudiante hacia una proyección de su aprendizaje. Un tercer módulo corresponde a todos los recursos dispuestos en la web para su aprendizaje, el ambiente incluye lecturas sobre los temas a tratar, ejercicios resueltos, videos sobre formas de operar, espacios de interacción para realizar ejercicios, conexión con pares de manera sincrónica, páginas de simulación de problemas resueltos, representaciones gráficas, entre otros. Teniendo en cuenta que es un modelo *b-learning*, también se cuenta con el apoyo

presencial del profesor y los compañeros de estudio con quienes se establece una comunicación directa para realimentar el proceso de aprendizaje. Un módulo final es el espacio de monitoreo y autoevaluación, donde se origina un ciclo metacognitivo en la medida en que el estudiante, de acuerdo con su autoevaluación, tiene la posibilidad de revisar sus metas, tiempos de estudio y replantear sus estrategias, nuevamente ejercitarse y revisar sus contenidos para alcanzar sus logros académicos.

La interacción con este andamiaje sirvió para que los estudiantes pudieran mejorar su logro académico y alcanzar algunos logros en el desarrollo de habilidades autorreguladoras: mejorar su tiempo de estudio, calibrar sus metas y medir su conocimiento sobre la tarea. Un elemento final del modelo pedagógico es el sistema de realimentación, una forma de configurarlo se da a través de agentes pedagógicos que funcionan como interlocutores entre el ambiente de aprendizaje y el aprendiz. Un agente pedagógico es un sistema inteligente que recibe información del comportamiento y acciones del aprendiz y, con base en esta, adapta una respuesta que asiste y realimenta al aprendiz en su proceso de aprendizaje. Este sistema también se pensaría como un andamiaje inteligente en la medida en que monitoriza, controla y retroalimenta el proceso de aprendizaje interactuando con el aprendiz (Veletsianos y Russell, 2013). La adaptabilidad de un agente pedagógico depende de muchos contextos, entre ellos se mencionan: los agentes motivacionales dispuestos para mejorar la autoeficacia en el aprendizaje (Baylor, 2011; Domagk, 2010), agentes que contribuyen a una tarea de aprendizaje y el logro académico (Kramer y Bente, 2010), agentes animados (Dunsworth y Atkinson, 2007; Kim y Wei, 2011), agentes para la comprensión de textos, agentes metacognitivos para el desarrollo de la autonomía y la autorregulación (Azevedo, Moos, Johnson y Chauncey, 2010; Azevedo, Witherspoon, Chauncey, Burkett, y Fike, 2009; Graesser y McNamara, 2010; López, Sanabria y Buitrago, 2018), entre otros. Estos sistemas plantean un campo de investigación amplio en educación que suponen la construcción de diferentes prototipos como mecanismos de apoyo del aprendizaje en diferentes entornos.

Una instancia de uso de agentes inteligentes se presenta en el trabajo de Maldonado *et al.* (2001), quienes elaboran un prototipo de un agente para estudiar el nivel de comprensión de hipertextos, el personaje virtual llamado “preguntón” es un agente que hace preguntas y orienta al aprendiz hacia la búsqueda de una respuesta dispuesta en un lugar del hipertexto (figura 12). Este sistema establece un diálogo con el usuario a partir de motivarlo y presentarle retos para que el aprendiz haga un juicio sobre la cantidad de preguntas que respondería después de haber avanzado en la lectura del hipertexto. Un cuestionamiento del agente al aprendiz se refiere a: “¿Cuántas preguntas cree poder contestar sin fallar?”, el juicio que realiza el aprendiz a través de su respuesta lleva al agente a realizar una segunda pregunta sobre el contenido del hipertexto: “¿Qué entiende por producto interno bruto?”. Con la respuesta del aprendiz, el agente plantea su propia respuesta e invita a esta persona a comprobar si las dos respuestas corresponden, este diálogo del agente se realiza con el siguiente mensaje “Comprobemos si su respuesta concuerda con la mía”. Si no hay correspondencia en las respuestas, el agente procede a invitar al aprendiz al lugar donde se encuentra la información que corresponde a la respuesta correcta, este es el diálogo del agente: “Vamos a la página donde encontramos la información”.

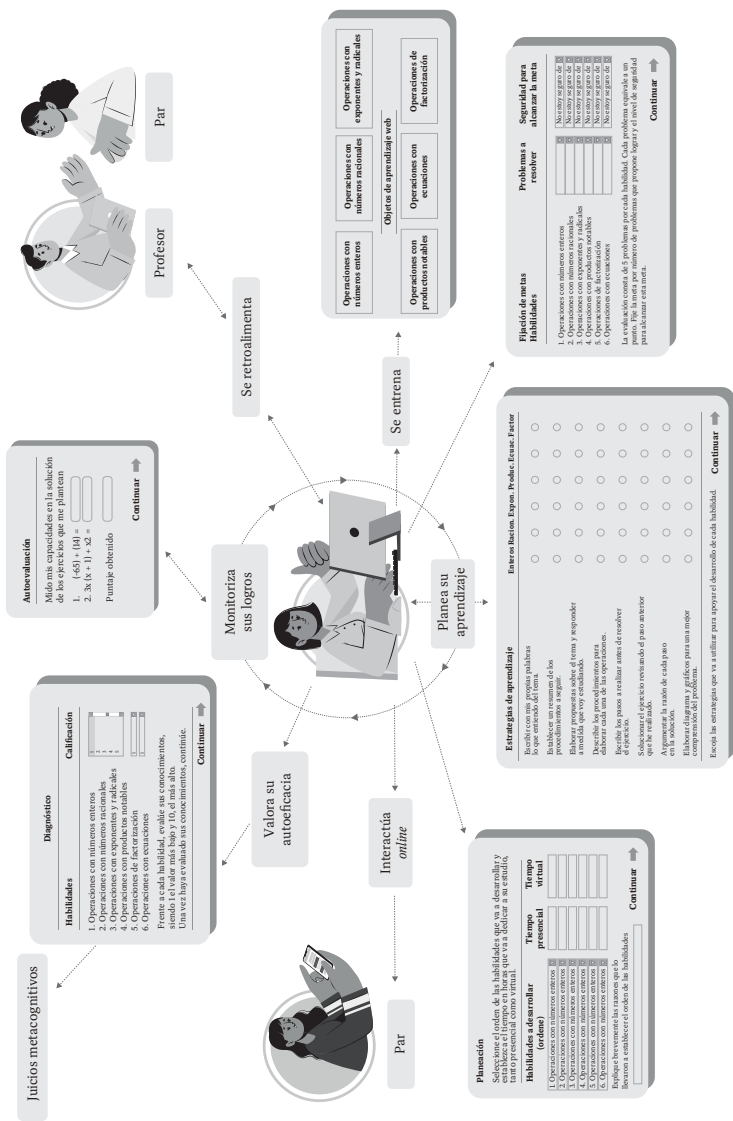


Figura 11. Andamiaje para desarrollar la autorregulación.
Fuente: basado en Sanabria *et al.* (2017).

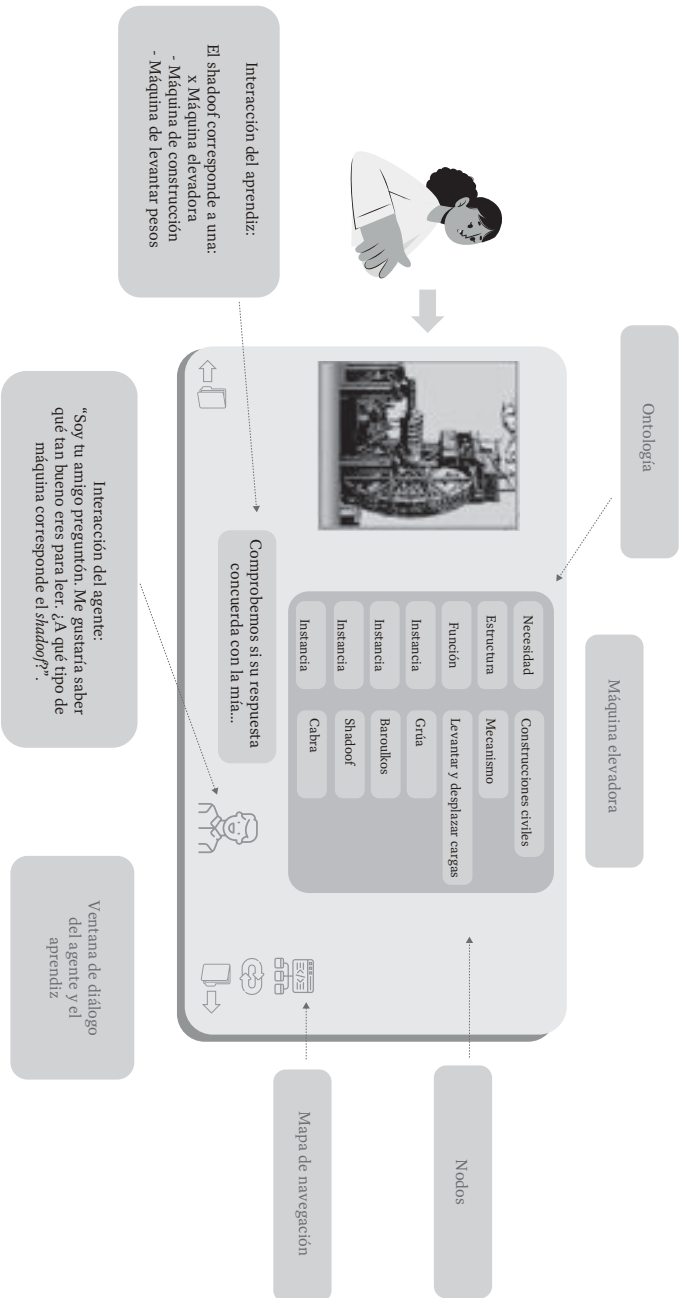


Figura 12. Agente "preguntón".

Fuente: elaborado a partir de Maldonado *et al.* (2001).

Con la inclusión del agente “preguntón”, el proceso de aprendizaje del aprendiz responde a las siguientes acciones: 1) leer un hipertexto; 2) responder preguntas del agente, y 3) si su respuesta no corresponde, aceptar la conducción del “preguntón” para llegar a la fuente de información que le permita lograr un nivel de comprensión. La interacción del agente se construye a partir del siguiente algoritmo:

1. Revisa los nodos del hipertexto (ontología) que no han sido visitados por el aprendiz.
2. Genera preguntas de estos nodos.
3. Invita al aprendiz a responder.
4. Compara la respuesta del aprendiz con su base de conocimiento.
5. Si la respuesta no corresponde, entonces sugiere una respuesta.
6. Invita al aprendiz a llegar a la fuente (nodo) donde está la respuesta.

El modelo del agente se realimenta de la estructura ontológica del ambiente hipermedial que le sirve como fuente de conocimiento para elaborar los mensajes (preguntas y afirmaciones escritas) que retroalimentan al aprendiz y las respuestas del aprendiz.

Modelación de interacciones comunicativas y recursos de aprendizaje

La modelación de la interacción comunicativa entre el aprendiz y el ambiente de aprendizaje computacional es una representación de la interacción del aprendiz con los recursos dispuestos en el ambiente de aprendizaje y los agentes que intervienen en el proceso (Traetteberg, 2002). Un proceso de aprendizaje con el uso de tecnología requiere la conexión de dos contextos: la tarea y el computador, esto determina la interacción entre el computador y

el ser humano, descrita a partir de las acciones del aprendiz y la realimentación del entorno digital. La interacción se construye a partir del uso de información (dominio, mensajes, texto, gráficos), los recursos requeridos (objetos de aprendizaje), los medios comunicativos con otros agentes y las acciones que experimenta el aprendiz con estos elementos. Un modelo de interacción debe proveer un mundo suficientemente claro y flexible que sea comprensible por el aprendiz para guiar y orientar su proceso de aprendizaje, este debe tener en cuenta el ambiente de aprendizaje y las metas propuestas por la persona. La claridad de un sistema interactivo depende de su usabilidad respecto a la facilidad para aprender, la facilidad para usarlo y la satisfacción del aprendiz (Rosson y Carroll, 2002).

Una teoría para representar la interacción de un aprendiz con un ambiente de aprendizaje se evidencia en el diseño de escenarios propuesta por Rosson y Carroll (2002). Según estos autores, un escenario es una historia o recuento acerca de lo que las personas llevan a cabo cuando realizan una actividad, ya sea en una tarea o en la solución un problema. La historia describe el episodio o situación que puede suceder en la actividad. Esta definición converge con el diseño de escenarios interactivos en los que se describen todos los recursos y herramientas que un aprendiz utiliza para resolver un problema o realizar una tarea. Estos recursos integran medios para comunicarse con sus pares y medios para interactuar con el ambiente de aprendizaje.

Un ambiente de aprendizaje se imagina como una narración de una historia en la que existen diferentes escenarios para lograr las metas, lo que se denomina *User Stories* (historias de usuario) (Cohn, 2004). Según Cohn, la *User Story* es una descripción funcional valorada para un usuario de un sistema. En la interacción computador-humano, Rocha (2008) define la *User Story* como “una descripción de las actividades y realizaciones recopiladas durante encuentros” de los usuarios. Esta definición se asimila al concepto de escenario manejado por Rosson y Carroll (2002), en la que un escenario se configura como una historia acerca de las personas anexas a sus actividades, es decir, un escenario es una

historia que describe la actividad de una persona. Desde el punto de vista del aprendizaje, un escenario describe un sistema existente en la perspectiva de un aprendiz e incluye una narración de sus metas, planes e interacciones. En este sentido, cada escenario fija una meta, engloba secuencias de acciones y eventos, actividades que realizan los aprendices (p. ej., pulsar el ratón del computador, comunicarse con sus pares), reacciones de los aprendices (p. ej., redireccionar el cursor en un juego para lograr un reto) y cambios en el ambiente de aprendizaje (p. ej., cambio de una página a otra en un hipermedio).

Para poner en contexto esta teoría, se presenta un ejemplo que intenta modelar el proceso de interacción del aprendiz y el agente pedagógico; para ello se tiene en cuenta el modelo de Maldonado *et al.* (2001) que define la información sobre la tarea del dominio, los recursos (herramientas usadas) y las acciones del aprendiz y el agente pedagógico (figuras 13 y 14). A partir de la clasificación de escenarios se pueden definir espacios que establecen el tipo de tarea cognitiva realizada por el aprendiz, las interacciones que suceden y los recursos que se utilizan (Rocha, 2018).

North (2016) y Cohn (2004) definen una plantilla para estructurar una *User Story*. Una instancia de este formato se formaliza en el ejemplo propuesto de la interacción del aprendiz y el agente pedagógico; esta historia representa los siguientes elementos: un título, una narrativa y un criterio de aceptación representado por los escenarios. El título simboliza una descripción general de la historia, la narrativa describe el tema central de la historia en términos de roles y beneficios de la historia, el criterio de aceptación se define a partir de los escenarios. Los escenarios están conformados por un título, el contexto en el que se realiza la acción, los eventos que generan la acción y los resultados del comportamiento del sistema; estas fases están nominadas por cláusulas: “Dado” (define el contexto), “Cuando” (define los eventos) y “Entonces” (define los resultados). La figura 14 representa la plantilla que describe el ambiente de aprendizaje del agente “Preguntón” (Maldonado *et al.*, 2001).

Diseño de la interacción del aprendiz

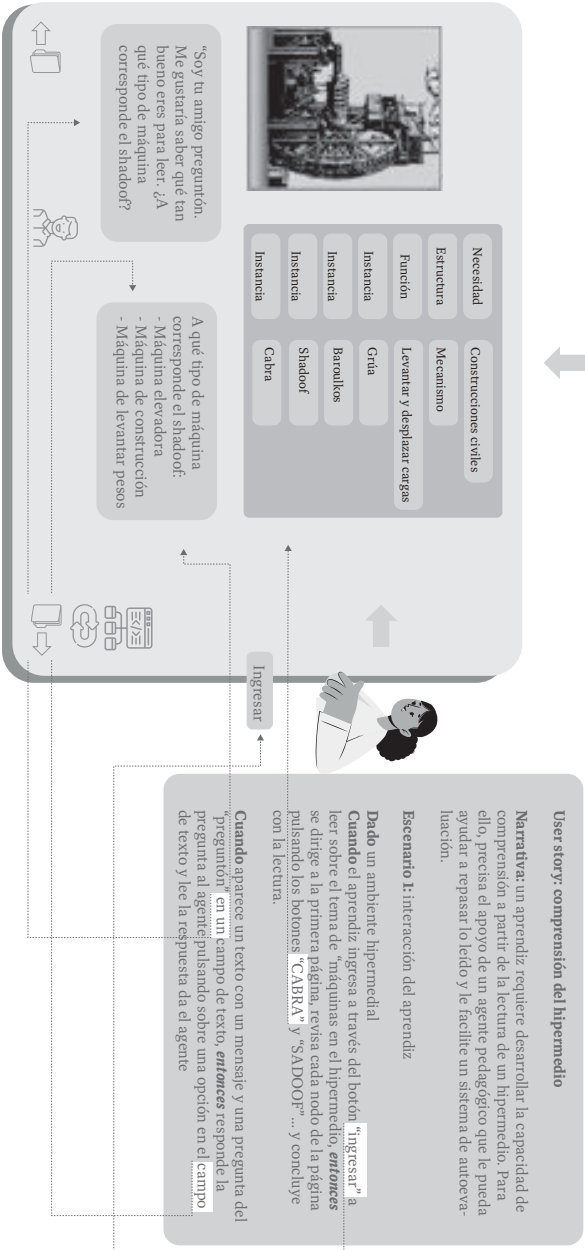


Figura 13. Plantilla que detalla la User Story de la interacción del aprendiz.

Fuente: basado en Cohn (2004), Maldonado *et al.* (2001) y North (2016).

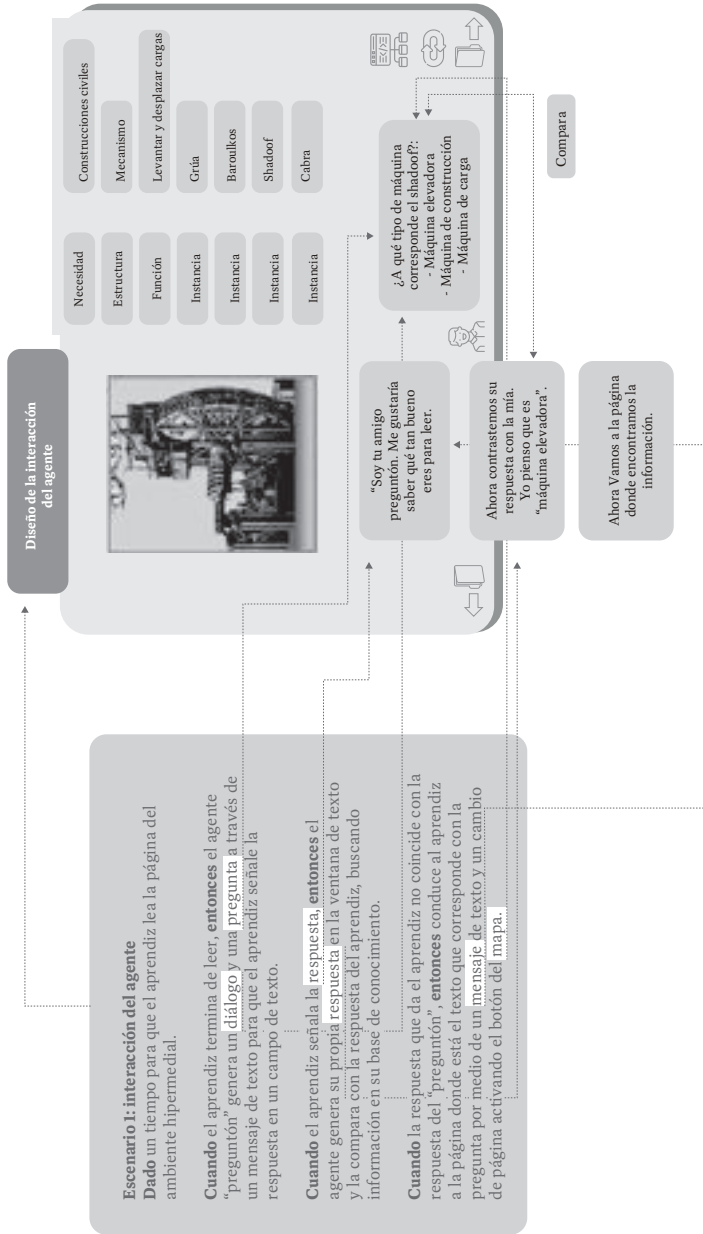


Figura 14. Plantilla que detalla la User Story de la interacción del agente "Preguntón".
 Fuente: basado en Cohn (2004), Maldonado et al. (2001) y North (2016).

Tal como se mencionó anteriormente, existe una forma de representar un ambiente interactivo a través de una ontología. La ontología se determina como un medio para formalizar los conceptos y relaciones, los escenarios y los comportamientos del aprendiz en una *User Story* (Rocha, Hak y Winckler, 2017). Una *User Story* se asimila al concepto de modelamiento de una tarea expuesto por Traetteberg (2002), que considera este proceso como la formalización del camino entre el flujo de trabajo y los modelos de diálogo de los usuarios, el flujo de trabajo provee el contexto para modelar la tarea y el modelo de la tarea provee el contexto para modelar las restricciones y el modelo de diálogo. Al establecer la similitud entre el modelo de la tarea y la *User Story*, se puede inferir la primera como si fuese la segunda, compuesta por varios escenarios (subtareas). Cada escenario incluye sus respectivos recursos para alcanzar las metas propuestas; entre ellos se pueden establecer el contexto, las acciones del usuario (modelo del usuario), las herramientas utilizadas para realizar la acción y la información manejada en estructuras conceptuales. A partir de la estructura de *Hozo* (Kozaki, Kitamura, Ikeda y Mizoguchi, 2002) y tomando los conceptos de Traetteberg (2002), se representa la ontología del modelo de la tarea, tal como se indica en la figura 15. De la misma forma, la escena del agente “preguntón”, retomando los conceptos de Traetteberg (2002), estaría representada en la ontología de la figura 16.

La figura 16 muestra la ontología de la interacción del aprendiz y el agente pedagógico. Este modelo se basa en la teoría de interface de usuario (Traetteberg, 2002), en la que se representan los pasos que sigue el usuario y las decisiones que genera el agente pedagógico.

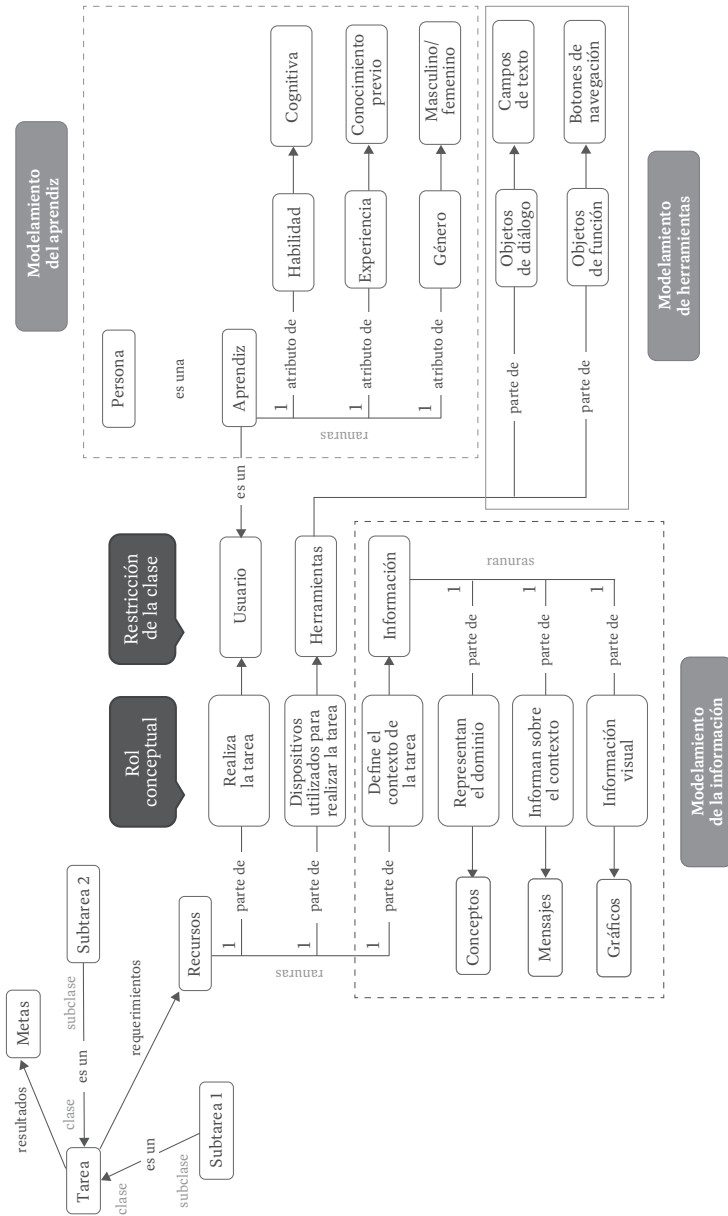


Figura 15. Ontología de la tarea.

Fuente: elaborada a partir de Kozaki *et al.* (2002) y Traetteberg (2002).

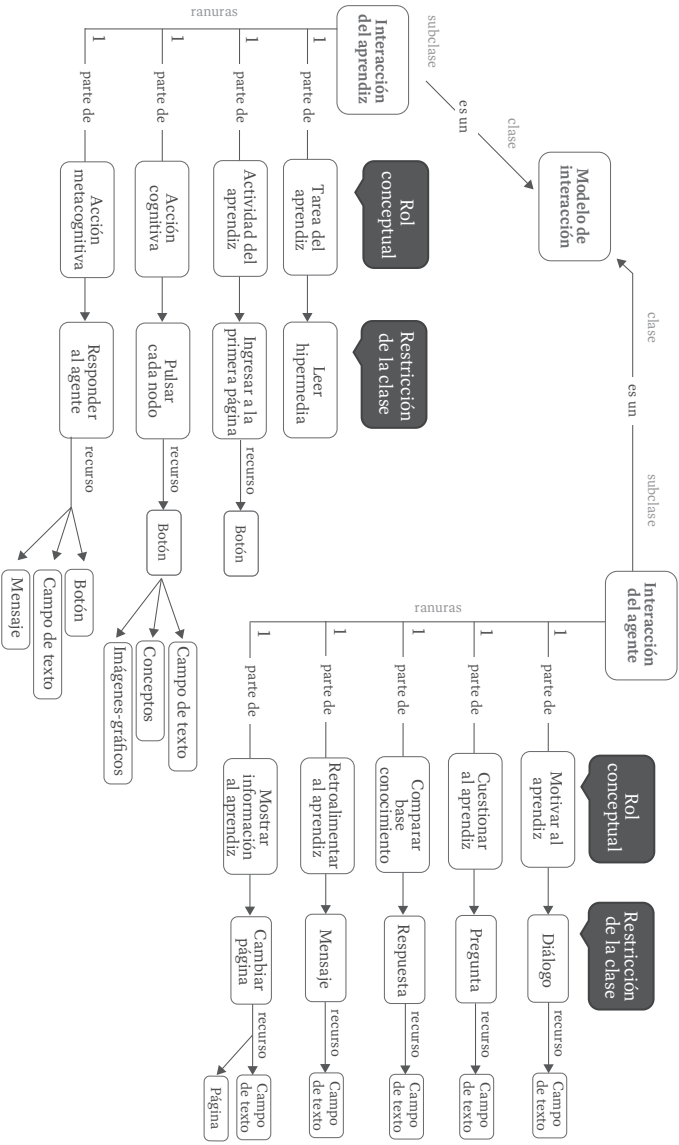


Figura 16. Ontología de la interacción del agente "preguntón".

Fuente: elaborada a partir de Kozaki *et al.* (2002) y Traetteberg (2002).

El uso de formas de interacción textual, visual o espacial han venido integrándose a los ambientes de aprendizaje multimedial como una forma de comunicación para el aprendiz. Estos medios fomentan el aprendizaje a partir de la comprensión de representaciones gráficas, videos, imágenes, animaciones, mensajes de texto, entre otros. Según Mayer (1997), los aprendices desarrollan aprendizajes significativos cuando integran múltiples representaciones en su proceso de formación. Aunque el procesamiento de texto y el procesamiento de imágenes generan dos formas separadas de razonamiento en la memoria (Baddeley, 1992), la integración de información visual y verbal relacionadas con un mismo tema de estudio conectan al aprendiz con la asimilación de lo que pasa externamente y la construcción de su representación mental (Johnson-Laird, 1989; Schnotz, 1993). Los modelos gráficos y los textos contribuyen de manera diferente a la adquisición de conocimiento. El uso de representaciones gráficas es importante en la comprensión de estructuras complejas en la solución de problemas (Traetteberg, 2002), mientras que el uso de textos es relevante en la formación de modelos mentales análogos (Schnotz, Picard y Hron, 1993).

Moreno y Mayer (2007) definen los ambientes de aprendizaje multimodal interactivos como consistentes de dos formas diferentes de representar el conocimiento: verbal y no-verbal; en este contexto, la interacción del aprendiz controla totalmente el proceso de aprendizaje. La forma verbal incluye el texto escrito y texto oral; la forma no verbal incluye imágenes, videos, animaciones, entre otros. En este tipo de ambientes, el aprendiz recibe la información a partir de sus sentidos en diferentes modalidades: auditiva, visual y táctil. Teniendo en cuenta la acción del aprendiz con los diferentes recursos del ambiente de aprendizaje, la interactividad se define como una manera de habilitar la comunicación con diferentes agentes en distintas direcciones y espacios (Markus, 1990; Moreno y Mayer, 2007). En este sentido, Moreno y Mayer distinguen cinco tipos de interactividad: diálogo, control, manipulación, búsqueda y navegación. En la interacción de diálogo, el aprendiz pregunta, responde y recibe realimentación (p. ej., el diálogo del agente “preguntón”; Maldonado *et al.*, 2001). La interacción a través del

diálogo se realiza a través de mensajes o avisos, denominados por algunos autores como *prompts* (Bannert, 2009; Ifenthaler, 2012; Renkl, Skuballa, Schwonke, Harr y Leber, 2015). Los *prompts* se formalizan como una manera de activar el aprendizaje a través de preguntas, sugerencias, oraciones, instrucciones, imágenes y gráficos, estos ayudan a fijar el interés del aprendiz en estrategias u objetos de aprendizaje (Bannert, 2009; King, 1992; Pressley, Wood, Woloshyn, Martin, King y Menke, 1992). Los *prompts* en un ambiente de aprendizaje interactivo funcionan como activadores de estrategias cognitivas y metacognitivas. Como instancias de estos mensajes se consideran los *prompts* activadores de estrategias para generar información al comienzo del proceso de aprendizaje y los *prompts* activadores de estrategias para procesar información durante el proceso de aprendizaje, el tipo de información en ambos casos puede ser del orden cognitivo o metacognitivo (Thillmann, Künsting, Wirth y Leutner, 2009).

La interacción de control es un espacio donde el aprendiz decide sobre su tiempo y los pasos a seguir en su proceso de aprendizaje (p. ej., en la interacción con un hipertexto, el aprendiz decide cuándo pasar de una página a otra a través de pulsar un botón de avance o retroceso). La interacción de manipulación es un proceso en el que el aprendiz manipula todos los objetos del ambiente de aprendizaje, controlando sus movimientos (p. ej., dirigir el cursor de un lugar a otro en una pantalla, arrastrar una imagen y colocarla en un sitio específico, ingresar parámetros en algún tipo de operación matemática). La interacción de búsqueda es ejecutada por el aprendiz a través del ingreso a diferentes sitios en un ambiente de aprendizaje para buscar información (p. ej., buscar información en la web activando diferentes nodos). La interacción por navegación incita al aprendiz a desplazarse a diferentes sitios para conectar información que definen un contenido de aprendizaje (p. ej., navegar por medio de la activación de campos y botones para comprender una temática en la web).

La integración de los diferentes modos de interacción es evidente en la modelación de ambientes de aprendizaje multimodal interactivo. Para materializar estas interacciones acudimos a una

simbiosis del modelo funcional del cerebro de Wang y Wang (2002), mencionado en el capítulo 2, y el modelo cognitivo de aprendizaje multimedial de Mayer (2005), que representa la forma como un ser humano procesa información. Esta aproximación teórica consiste en la interacción de los cuatro tipos de memoria: memoria sensorial, memoria de corto plazo, memoria de largo plazo y memoria de acción (Wang, Wang, Patel y Patel, 2006). La estructura de este modelo estaría conformada por cuatro módulos representados a partir de los medios utilizados en la interacción con un ambiente de aprendizaje, la relación de estos medios con los órganos sensoriales, la conexión de los órganos sensoriales con el módulo cerebral y la salida de operaciones motoras convertidas en acciones del aprendiz en el entorno de aprendizaje. La funcionalidad del modelo inicia con los diferentes recursos de interacción dispuestos en el ambiente de aprendizaje que alimentan los sentidos. En este espacio están incluidos elementos verbales como los mensajes de texto y los mensajes orales y elementos no-verbales como las imágenes, las animaciones, los gráficos, entre otros (Moreno y Mayer, 2007). El tránsito de información, captada a través de los órganos sensoriales, va dirigida a la memoria sensorial, donde es transferida a la memoria de trabajo y a la memoria de largo plazo, en un proceso de interacción entre las funciones cognitivas conscientes y subconscientes del cerebro. Cada memoria funciona como un activador de la inteligencia en la medida que almacena temporalmente y mantiene estable los resultados retenidos y recuperados del proceso de aprendizaje. Las habilidades del aprendiz destacadas como procesos subconscientes se almacenan en la memoria de acción, donde se disponen las acciones y comportamientos que le permiten solucionar problemas y realizar tareas (Wang, Wang, Patel y Patel, 2006).

La dinámica del modelo interactivo del cerebro aplicado al aprendizaje multimedial (Mayer, 2005; Wang, 2013; Wang *et al.*, 2006), se puede derivar del prototipo desarrollado por Sanabria (1997) y Maldonado, Fonseca, Ibáñez, Macías, Rubio, Ortega y Sanabria (1999) (figura 17). En esta representación se infiere de manera aproximada la forma como funciona cada módulo del cerebro en el proceso de interacción con el ambiente de aprendizaje.

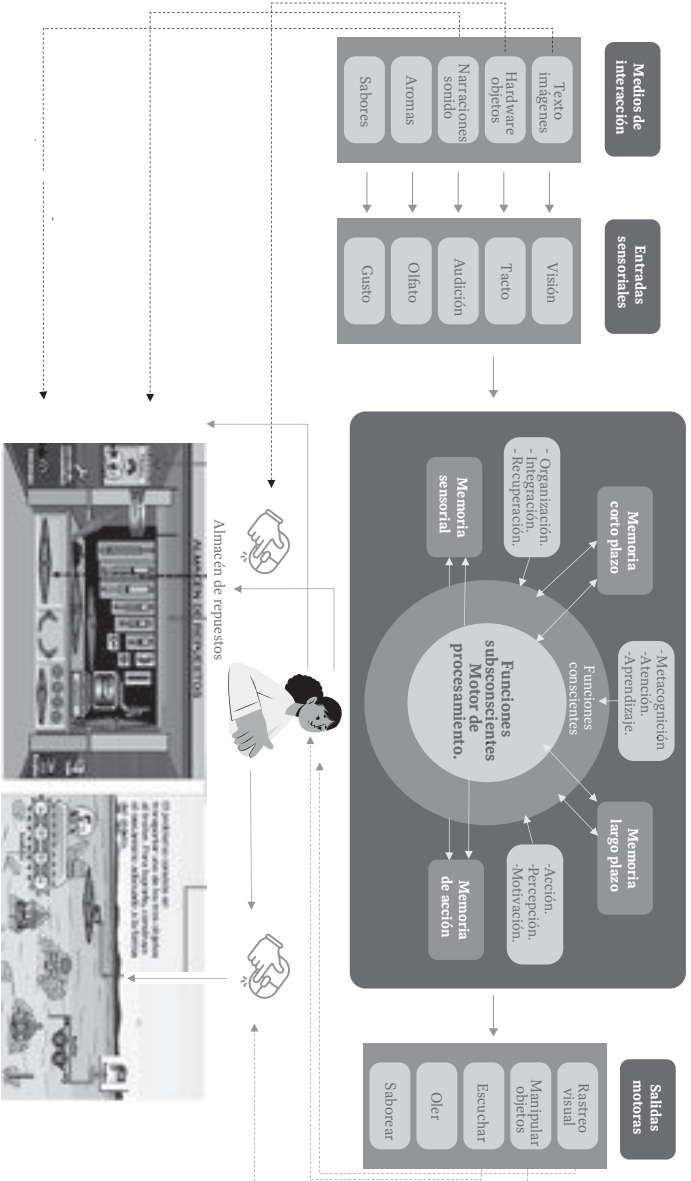


Figura 17. Modelo interactivo del cerebro aplicado al aprendizaje multimedia.

Fuente: basado en Mayer (2005), Wang (2013), Wang, *et al.* (2006), y Sanabria (1997).

Para interpretar el modelo de la figura 17, se describe inicialmente el ambiente de aprendizaje interactivo de Sanabria (1997), consistente en un micromundo de una máquina elevadora dispuesta para levantar tres tipos de pesos transportados a un tráiler. El problema que debe resolver el aprendiz consiste en armar la estructura de la máquina; este objetivo se logra mediante la adquisición de los componentes requeridos en un almacén de partes. Los componentes de la máquina se compran uno a uno, lo cual es regulado por un presupuesto que el aprendiz debe administrar. La regulación de la compra depende del conocimiento que el aprendiz tiene sobre el mecanismo de la máquina; para ello, la persona necesita reflexionar sobre el conocimiento que tiene con relación al tipo de estructura y a la forma del objeto que va a levantar la máquina (proceso metacognitivo). De esta forma, procede a adquirir las partes que luego debe ensamblar para que la máquina funcione. Si el aprendiz desconoce el funcionamiento de la máquina, tiene la opción de consultar información en un hipermedio que hace parte del mismo ambiente (sistema de realimentación). Por el acceso a esta ayuda, también debe pagar. Un resultado exitoso en la solución del problema dependería de su reflexión metacognitiva para hacer alcanzar el presupuesto que lo lleve a armar la máquina de manera funcional.

El proceso de interacción del aprendiz, a partir del modelo de Mayer y Wang *et al.*, establece inferencias que se podrían visualizar en varios eventos. Un primer evento es la captura de imágenes y texto explicada a partir de la teoría de procesamiento de información visual (Wang, 2008). Según esta teoría, las imágenes reales representadas en un ambiente de aprendizaje ingresan a la memoria sensorial como imágenes análogas que son una réplica de las imágenes de los objetos reales, luego son reconstruidas en la memoria de corto plazo, conformando un marco de la imagen análoga y posteriormente son retenidas en la memoria de largo plazo en tres tipos de configuración: simbólica, semántica, y episódica. La base simbólica representa la imagen con símbolos básicos, la base semántica formaliza la imagen como una estructura semántica conformada por objetos, atributos y relaciones y la base

episódica asimila la imagen con experiencias previas. En esta transferencia existe una recuperación en la memoria de corto plazo de la imagen que proviene de la memoria de largo plazo. El control de la interacción entre las memorias es realizado por el sistema perceptual (Wang, 2008).

Un segundo evento es la comprensión del problema, el ejemplo del ambiente de la máquina muestra una definición textual del problema y una representación pictórica de los componentes de la máquina. El proceso de comprensión, de acuerdo con Wang y Gafurov (2003), consistiría en la identificación de los elementos del problema, para ello tendría la oportunidad de acceder a varias ayudas (ej. la forma de las piezas que componen la máquina, la nominación de cada pieza). Una vez identificados los elementos y variables, el aprendiz propendería por buscar posibles relaciones entre la información que ingresa del escenario externo del problema y la información de su memoria de largo plazo con el fin de poder construir en su memoria un modelo que intercepte los conceptos externos con los conceptos internos de la memoria de largo plazo. La comprensión se logra cuando este modelo se enlaza a la red apropiada en la memoria de largo plazo.

El tercer evento es el proceso metacognitivo en el que el aprendiz hace juicios sobre lo que sabe para seleccionar las partes que van a conformar el mecanismo que accione la máquina elevadora. Este proceso radicaría según Wang *et al.* (2006) en una actuación consciente de la mente del individuo, en la que participan otros procesos como la atención, la abstracción, la búsqueda, la representación de conocimiento, la memorización, entre otros. La atención es un proceso que cumple la función de focalizar las entradas sensoriales de manera selectiva (p. ej., focalizar los datos relevantes del problema). La abstracción genera modelos reducidos de una entidad externa, aislando sus atributos para ser procesados por la mente (p. ej., precisar el concepto de palanca en la máquina). La búsqueda es un proceso exploratorio dirigido a localizar y recuperar en la memoria una parte de conocimiento que se acople a un concepto dado (p. ej., encontrar un mecanismo que se adapte a las piezas

seleccionadas de la máquina elevadora). La representación de conocimiento es un proceso descriptivo de la forma como la información se codifica en la generación de modelos cognitivos del cerebro (p. ej., formalización del mecanismo a construir a través de un modelo mental, una ontología). La memorización actúa como un medio de codificación, almacenamiento y recuperación de información en la memoria de largo plazo. La memorización está íntimamente relacionada con el aprendizaje.

Los anteriores procesos se establecen en las tres funciones de la metacognición: el monitoreo, la regulación y el control (Flawell, 1976; Sun, 2014). El monitoreo y el control se desarrollan a través de un ciclo conformado por dos niveles interrelacionados: metanivel y nivel objeto. El metanivel contiene un modelo dinámico del proceso cognitivo dado en el nivel objeto. El conocimiento fluye del nivel objeto al nivel meta en términos de la adquisición, la retención y la recuperación de información (Nelson y Narens, 1990). La adquisición de información sucede a través de la atención, mientras que la retención sucede a partir de la abstracción, representación y memorización, y la recuperación se da a partir de la búsqueda y memorización. La adquisición de conocimiento es la primera fase que permite obtener una representación del objeto de conocimiento en una primera instancia. En esta etapa el aprendiz hace juicios sobre la facilidad en la solución del problema y la sensación de conocer dicha solución (p. ej., apreciación de los conceptos conocidos y la planeación de una posible solución del problema). La retención se adiciona al proceso de monitoreo a través de la valoración del conocimiento que tiene el individuo en su memoria. En esta etapa el individuo hace juicios sobre el conocimiento que posee (p. ej., recurrir a conocimientos previos y su relación con conocimientos adquiridos) y la recuperación es la validación de conocimiento, en la que el aprendiz confirma su conocimiento y hace juicios sobre la sensación de conocer. Esta fase se considera en el nivel meta en la medida que existe una representación del objeto de conocimiento (p. ej., valoración sobre los logros de aprendizaje obtenidos). Las funciones metacognitivas de regulación y control se consideran

como un sistema de refuerzo que transforma y retroalimenta el conocimiento del individuo a través de la fijación de nuevas metas en la etapa de adquisición y el cambio de estrategias dado a través de la búsqueda en la etapa de recuperación. El cuarto evento es la toma de decisiones considerada dentro de la selección de una opción o un conjunto de acciones preferidas en un conjunto de alternativas basadas en un criterio o estrategia dado (Wang y Ruhe, 2007). La toma de decisiones está ligada a los procesos metacognitivos en la medida en que se acude al conocimiento a nivel meta antes de asumir la decisión más acertada. En este caso, la toma de decisiones está influida por la función metacognitiva de control.

Una explicación de las acciones metacognitivas, en el contexto de la máquina elevadora (Maldonado *et al.*, 1999; Sanabria, 1997), inicia cuando el aprendiz hace juicios sobre los elementos que conoce de la máquina para calcular la inversión que lo llevará a tomar la decisión de adquirirlos. Se infiere que esta fase de monitoreo incluye la adquisición, retención y recuperación de conocimiento a nivel meta. A partir de la función de control, la decisión que se tome es regulada por el conocimiento que tiene el aprendiz y su relación con el cálculo del presupuesto para adquirir las piezas u obtener información sobre ellas. El siguiente paso en la toma de decisiones es el proceso de armado del mecanismo de la máquina elevadora. El aprendiz hace juicios sobre las relaciones causales de los elementos de la máquina; si el sistema de armado no corresponde con el mecanismo apropiado para resolver el problema de levantar el peso, el individuo puede acudir al cambio de estrategia. En este momento sucede un proceso de control metacognitivo en su aprendizaje. Este proceso implica la realimentación de información sobre la función de las partes y la adquisición de nuevas partes; para ello, nuevamente activa sus juicios metacognitivos para calcular el costo de acceso a estos elementos, teniendo en cuenta una buena distribución del presupuesto para lograr su objetivo o solucionar el problema. En el desarrollo total del proceso, el aprendizaje se hace evidente a través de ciclos metacognitivos. En este sentido, se considera el aprendizaje como un proceso de asociación de conocimiento externo

con conocimiento existente en la memoria (Wang, Leung, Gavrilova, Zatarain, Graves, Lu, Howard, Kwong, Sheu y Patel, 2018; Wilson y Keil, 2001), razón por la cual se da una interacción de varios procesos cognitivos fusionados en la metacognición.

Síntesis del capítulo

La composición de la mayoría de los ambientes de aprendizaje apoyados por computador está basada en estructuras ontológicas, lo que se configura como un ambiente de aprendizaje hipermedial. Cada página de un ambiente hipermedial se compone de un escenario para adaptar y alojar diferentes modelos interactivos como entornos de solución de problemas, micromundos, agentes pedagógicos, tutores inteligentes, hipertexto, MOOC, entre otros. Estos elementos pueden ser conectados con otras páginas a través de sistemas de navegación. Todo el sistema gira en torno a un sistema ontológico que funciona de manera análoga como un centro de interconexiones, en el que se articulan y comunican los recursos en una estructura semántica para que el aprendiz interactúe con ellos en una tarea de aprendizaje. Una instancia de estos sistemas propone escenarios de aprendizaje individualizados, adaptables a las diferencias individuales; estos escenarios cumplen la condición de ser adaptables a las necesidades de cada individuo y su creación está basada en estructuras ontológicas, caso de los ambientes de aprendizaje inteligentes y adaptativos basados en la web (Romero y Ventura, 2007). Este capítulo propone algunas alternativas para la construcción de estos escenarios de aprendizaje, dando pautas de modelamiento de cada uno de sus componentes. La aplicación de estos elementos aproximará al docente en la elaboración de ambientes de aprendizaje con apoyo de tecnologías digitales e inteligencia artificial.

Capítulo 5

Tendencias y predicciones de las tecnologías de la información en la educación

El desarrollo de la ciencia y la tecnología, las políticas de los países, los desafíos de la economía, la globalización, los problemas actuales de la humanidad como las epidemias, el cambio climático, la migración evidencian nuevas necesidades que han obligado a dar un giro total a la manera como se educan las personas. En este sentido, se plantean nuevos retos y oportunidades que convocan a la transformación de modelos y formas innovadoras de aprendizaje. Los aprendices tienen necesidades individuales para lograr avanzar en el desarrollo de habilidades y en la apropiación de conocimiento; también existen características que los identifican a través de su motivación, su afectividad, su estilo cognitivo, su conocimiento previo, sus habilidades tanto cognitivas como meta-cognitivas. Estos elementos generan una serie de oportunidades que se deben aprovechar para crear nuevas formas de aprendizaje y que se centran en el manejo de información que condiciona nuestro comportamiento y nuestras acciones, manifestadas en la solución de problemas propios y en el aprendizaje. Este flujo de información se traslada por nuestros sentidos, cumpliendo la función de sensores de lo que sucede externamente. Los diferentes canales sensoriales son medios para transferir la información de varios tipos que es utilizada en el diseño de escenarios de aprendizaje adaptables al tipo de información que captan. Estas formas de transferir información

sobre el comportamiento y acciones del aprendiz ofrecen nuevas alternativas de transformación de los ambientes de aprendizaje computacional y abren nuevas oportunidades de inclusión para que los aprendices con algún tipo de discapacidad o diferenciación tengan la oportunidad de aprender.

Otro escenario se plantea con los sistemas que aprenden del comportamiento de quien se forma a partir de la información que esta persona suministra y sobre la cual se implementan nuevas estrategias en contextos de aprendizaje que son generalizables en su utilización (Baker, 2019). De acuerdo con Baker, el modelo de estudiante de un sistema de aprendizaje sirve para ajustar estrategias en un segundo sistema y así sucesivamente hasta alcanzar un sistema bueno que fuera el prototipo ideal de un ambiente de aprendizaje; esto supone ambientes de aprendizaje futuristas que se actualizan conforme a los cambios del estudiante, lo cual genera una conexión de diferentes escenarios de aprendizaje para alcanzar la mejor transformación de un sistema educativo. En esencia, los ambientes de aprendizaje con apoyo en tecnologías de la información, a partir de esta tesis, se proyectan en una dinámica de cambio, evolucionan al perfeccionamiento y se ajustan a las verdaderas necesidades del aprendiz y su contexto.

Con el diseño de nuevos sistemas de aprendizaje basados en el análisis de información existe un aumento en el caudal de datos que transita por los sentidos cuando estamos inmersos en una tarea de aprendizaje, esto genera grandes cantidades de datos que serían de imposible análisis utilizando técnicas manuales (Papamitsiou y Economides, 2014). Las tecnologías de la información se presentan como la opción más acertada en la recopilación, clasificación y análisis de cantidades masivas de información que permiten identificar patrones de comportamiento, útiles en el diseño de escenarios de aprendizaje que utilizan inteligencia artificial para adaptar metodologías y estrategias de aprendizaje a las características individuales de los aprendices. Una instancia son los ambientes de aprendizaje en línea que generan magnitudes de datos sobre procesos de aprendizaje; estas masas de datos se utilizan como fuentes

de información para derivar estrategias de aprendizaje empleadas en el mejoramiento del desempeño académico (Calvet Liñán y Juan Pérez, 2015). Un ejemplo de estos entornos de aprendizaje son los cursos masivos abiertos en línea (Massive Open Online Course, MOOC), ambientes de aprendizaje basados en la web diseñados para acceder libremente desde cualquier lugar geográfico. Estos cursos están estructurados de manera similar a cualquier curso que se oriente desde una institución formal.

Actualmente en educación se proyecta el uso de *big data*, tal como se menciona en capítulos anteriores, como una estrategia para manejar el volumen de datos derivado del comportamiento y acciones en un proceso de aprendizaje, cuyo tamaño supera la capacidad de las bases de datos típicas (Manyika, Chui, Brown, Bughin, Dobbs, Roxburgh y Byers, 2011), constituyéndose en la fuente de información para obtener patrones de comportamiento a partir de técnicas de análisis como las analíticas de aprendizaje, *Learning Analytics* (análisis de datos sobre aprendizaje) o las minerías de datos educativos *Educational Data Mining*, citadas anteriormente. Mientras que el objetivo de las analíticas de aprendizaje *Learning Analytics*, como una técnica de extracción, medición, análisis y reporte de datos sobre procesos de aprendizaje de los individuos y el contexto donde suceden, es la comprensión y optimización del sistema de aprendizaje (LAK'11, 2011; Siemens, 2013). El propósito de la minería de datos educativos, *Educational Data Mining*, se centra en el desarrollo, investigación y aplicación de métodos computarizados para detectar patrones en la cantidad de datos recaudados en un proceso educativo (Romero y Ventura, 2013). Estas dos técnicas nos dan una comprensión precisa de lo que sucede en un proceso de aprendizaje, con lo cual se pueden mejorar los sistemas de aprendizaje existentes o diseñar nuevos escenarios de aprendizaje.

A partir del flujo de información se plantean tres elementos sobre los cuales se proyecta el futuro de la educación. Estos se visualizan en la conectividad, la ubicuidad y el tránsito de información en la web (conectivismo). En medio de esta transición es preciso resaltar que la complejidad en la captura y procesamiento de

datos requieren del uso de las tecnologías informacionales que se configuran en nuevos escenarios de aprendizaje. Instancias como el internet de las cosas, el conectivismo, el aprendizaje ubicuo, los ecosistemas de aprendizaje, las redes sociales, la web semántica o web inteligente, el aprendizaje en la nube, la realidad aumentada y la robótica son nuevas formas de utilizar la tecnología para el aprendizaje. Sobre estos escenarios se plantea la disertación de este capítulo, desde el que se podrán inferir algunas recomendaciones de su aplicabilidad en educación.

Internet de las cosas en educación

El “internet de las cosas” es un término acuñado por Asthon (2009) y se deriva de la conexión de ideas, información y objetos del entorno físico. Temucin, Seydi, Yalin, Kaya y Tekinerdogan (2018) definen el internet de las cosas como un conjunto de objetos extendido globalmente que se comunican entre sí, formando una red inteligente para compartir información. Aunque el internet de las cosas ha sido utilizado en la conexión inalámbrica de los objetos y la web a través del flujo de información digital, esta tecnología se proyecta con bastante proximidad para ser usada como un sistema de interconexión entre el comportamiento del ser humano y el computador, lo que ha servido para monitorizar información fisiológica y acciones motoras, en el caso de la salud y asistencia médica (Bobin, Amroun, Boukalle, Anastassova y Ammi, 2018; Soucies, Girouard y Ouarti, 2014). Últimamente también se ha empleado para detectar actividades y acciones de las personas que están involucradas en una tarea de aprendizaje. Evans (2013) presagia que la conectividad a través de la web de las personas, los objetos y la información definirán las necesidades de aprendizaje de los educandos. Según Johnson, Adams Becker, Estrada y Freeman (2014), el internet de las cosas está conformado por una red de objetos conectados que enlazan el entorno físico con el mundo de la información a través de la web. La expansión de estos dispositivos conforma una red de actuadores y sensores para comunicación e interacción de todos

los objetos y sucesos del ambiente que rodea a las personas, este escenario determina el internet de las cosas. La información recopilada es conducida a través de redes y plataformas computacionales para construir un marco estratégico común, en el que se puedan visualizar patrones de comportamiento de los objetos, las personas y el ambiente (Gubbi, Buyya, Marusic y Palaniswami, 2013). Para el caso de la educación, el internet de las cosas actúa adoptando datos de diferentes fuentes, tanto humanas como físicas sobre la actividad educativa, dando información de los educandos durante su desempeño en una tarea de aprendizaje (Verma y Sood, 2018).

Un ambiente de aprendizaje futurista incluye un ecosistema de sensores y actuadores para monitorizar las actividades y comportamientos de una persona inmersa en una tarea de aprendizaje. Estos dispositivos estarían ubicados estratégicamente en partes del cuerpo del individuo (p. ej., muñecas de las manos, gafas, diademas, entre otros), de tal forma que no distraigan la atención del aprendiz en sus actividades normales de aprendizaje. El internet de las cosas en el caso de un ambiente de aprendizaje consistiría en sensores externos conectados a un computador que recibe la información sensada con el objeto de ser analizada a través de un sistema inteligente. Este utilizaría algoritmos para concatenar las diferentes señales y determinar patrones útiles en la elaboración de sistemas de retroalimentación para el estudiante, a través de diferentes formas de actuación del ambiente de aprendizaje (p. ej., mensajes de ayuda escritos o verbales, mensajes metacognitivos, animaciones, imágenes, entre otros). La información sensada de lo que sucede en el proceso de aprendizaje procedería de dispositivos que exploran, en primer lugar, la interacción del aprendiz con sus pares y con los objetos del ambiente de aprendizaje y, en segundo lugar, el comportamiento del individuo que se manifiesta a través de varios canales sensoriales (tacto, visión, propiocepción, audición), acciones motoras y algunas funciones fisiológicas como la respiración, la presión sanguínea, la temperatura del cuerpo (Azevedo y Gašević, 2019). La concatenación de estos flujos de información permitiría evaluar el comportamiento del estudiante, elemento que facilita el diseño de estrategias para mejorar su aprendizaje.

Aprendizaje ubicuo con tecnologías inteligentes

De acuerdo con la teoría cognitiva de Wang (2016), el aprendizaje se considera como un proceso cognitivo de adquisición de conocimiento para producir comportamiento. A partir de esta tesis, el aprendizaje se focaliza en dos dimensiones: el desarrollo de habilidades cognitivas y la adquisición de conocimiento, estos límites son fundamentales en la toma de decisiones y la solución de problemas. Para explicar estas dimensiones, el contexto desempeña un rol importante en la medida en que provee los recursos y las situaciones de aprendizaje. Una instancia de la necesidad del contexto está dada en el aprendizaje situado, relacionado con experiencias auténticas de problemas reales generados en un contexto físico y social en el que se aplica el conocimiento aprendido (Akhra, 2011; Brown, Collins y Duguid, 1989; Lave y Wenger, 1991). El aprendizaje ubicuo es un sistema emergente de aprendizaje dado en situaciones auténticas de contextos reales, en el que se proveen todos los elementos del ambiente natural y los dispositivos tecnológicos para que el aprendiz construya sus propias ecologías de recursos y pueda aprender de manera autónoma todo el tiempo y en cualquier lugar a partir de lo que observa, escucha, indaga y percibe a su alrededor (Breuer y Matsumoto, 2011; Hwang, 2006; Luckin, 2008). En este sentido, el aprendiz se considera totalmente inmerso en un proceso de aprendizaje (Jones y Jo, 2004). Entre los recursos con que cuenta el aprendiz se tiene, por un lado, el ambiente natural considerado como un contexto sensible, en el que todos sus objetos físicos conectados adquieren relevancia, en la medida en que la persona utiliza su información para beneficio de su aprendizaje y, por otro, la tecnología computacional, disponible para la interacción con los objetos físicos a través de dispositivos como los sensores, los teléfonos móviles inteligentes, las tabletas, las cámaras digitales, las gafas digitales (Google Glass), los relojes digitales de pulso (*digital wrist watch*), las redes de comunicación inalámbricas, los microprocesadores (microchips), los servidores

(receptores y emisores de información) (Hwang, 2006; 2014). Estos elementos se integran con el mundo físico; algunos son fijos como los microchips integrados a los objetos del entorno y otros son espontáneos como los teléfonos móviles. Su interacción facilita el rastreo, la transmisión y el procesamiento de información proveniente de cualquier contexto de manera sincrónica o asincrónica (Kindberg y Fox, 2002).

Cheng, Sun, Kansen, Huang y He (2005) definen las siguientes características de un ambiente de aprendizaje ubicuo: la situación de aprendizaje del aprendiz como espacio que dispone de los requerimientos y recursos adaptados; la situación de aprendizaje y las acciones y comportamientos del aprendiz como elementos que pueden ser monitorizados; la definición de la situación de aprendizaje que depende de la comparación de los comportamientos del aprendiz con los requerimientos para su desarrollo, y la provisión inmediata de realimentación que se adapta a las condiciones de la situación de aprendizaje.

El aprendizaje ubicuo toma como centro de recepción y actuación las tecnologías de computación en la nube; este espacio sirve como plataforma de interacción del internet de las cosas. El desempeño del estudiante en un proceso de aprendizaje se mediría explorando las características ubicuas de los dispositivos incluidos en un ecosistema de internet de las cosas; estas tecnologías habilitan la posibilidad de medir, transferir, comprender e inferir patrones provenientes de comportamientos, recursos y ambientes que conforman un ecosistema de aprendizaje (Gubbi *et al.*, 2013).

La proyección de un ambiente de aprendizaje ubicuo inteligente radicaría en un sistema de aprendizaje que utiliza computación ubicua, internet de las cosas e inteligencia artificial para hacer adaptaciones a las características y necesidades de los estudiantes y conforme a la adaptabilidad suministra realimentación y proporciona los recursos de aprendizaje necesarios acorde a los comportamientos y acciones de los aprendices (Kanagarajan y Ramakrishnan, 2018). En esta categoría, Hwang (2014) establece un tipo de escenarios de aprendizaje inteligentes *Smart learning environments* (ambientes de aprendizaje inteligente). Según el autor, estos

ambientes adaptan sus recursos a las necesidades individuales de los aprendices, determinadas por su comportamiento y desempeño en el proceso de aprendizaje, los contextos auténticos donde están situados, suministrando un soporte pedagógico en realimentación y recursos apropiados en el sitio y tiempo correcto.

Apoyados en el marco conceptual de Hwang (2014), que establece los módulos de un ambiente de aprendizaje inteligente y el sistema integrado de visualización de Mouri y Ogata (2015), compuesto por tecnologías de visualización en red, registros de aprendizaje ubicuo, mapas de tiempo y analíticas de aprendizaje, se propone un sistema de aprendizaje ubicuo inteligente conformado por los siguientes espacios:

1. Espacio para determinar la situación de aprendizaje: esta parte utiliza dispositivos de monitoreo (sensores) para detectar las diferentes características de un contexto de aprendizaje auténtico como la localización del sitio donde ocurre una situación de aprendizaje (p. ej., casa, parque, bosque), los factores que intervienen en esta situación (p. ej., temperatura, propiedades y características de los objetos).
2. Espacio de análisis y evaluación del desempeño y las acciones comportamentales del aprendiz en el contexto de aprendizaje: esta sección consiste en el rastreo y análisis de información sobre la forma como aprende el individuo en una actividad auténtica. Allí se valorarían aspectos fisiológicos (p. ej., la respiración, la presión sanguínea, la temperatura del cuerpo), aspectos comportamentales (p. ej., acciones motoras en la interacción con un objeto, registro de lo que el aprendiz percibe, observa y escucha) y factores personales (estilos cognitivos) (Azevedo y Gašević, 2019; Witkin, Moore, Goodenough y Cox, 1977), y aspectos de rendimiento a través de pruebas sobre la actividad de aprendizaje (p. ej., cuestionarios de preguntas, ontologías del conocimiento aprendido). Para el rastreo y análisis de datos obtenidos del contexto de aprendizaje se utilizan tecnologías ubicuas como las cámaras aumentadas con sensores *sensecam* (que consisten en cámaras digitales con sensores integrados para capturar y registrar imágenes y datos sobre los eventos que suceden cuando

el aprendiz está inmerso en una actividad de aprendizaje auténtica; Hodges, Williams, Berry, Izadi, Srinivasan, Butler, Smyth, Kapur y Wood, 2006), los teléfonos inteligentes *smartphone* (dispositivos móviles útiles para registrar información sobre la experiencia de aprendizaje acaecida durante la vida diaria del aprendiz; Mouri y Ogata, 2015), los rastreadores oculares (*Eye Mark Recorder*, útiles para registrar el movimiento de los ojos en actividades de aprendizaje real y las expresiones faciales; NAC, 2019) y los relojes de pulso con sensores electrodérmicos, para mediciones fisiológicas como la conductividad de la piel, la temperatura del cuerpo, la presión sanguínea y la frecuencia cardiaca. Algunos ejemplos de estos dispositivos son el brazalete de activación electrodérmica Q-Sensor 2.0 - Electrodermal Activation Bracelet (Afectiva, 2013), el sistema de obtención de señales basado en el reloj de pulso BioWatch - A Wrist Watch Based Signal Acquisition System (Thomas, Nathan, Zong, Akinbola, Aroul, Philipose, Soundarapandian, Shi y Jafari, 2014). Todos los datos registrados se mantienen en bases de datos almacenadas y procesadas en la nube a través de motores de inferencia para la determinación de patrones y perfiles del aprendiz, y la adaptación de recursos y realimentación que soporte al estudiante en el sitio y tiempo adecuados.

3. Espacio de visualización de la interacción del aprendiz con la actividad de aprendizaje (Mouri y Ogata, 2015). Esta sección funciona como una ventana de observación, en la que el aprendiz a través del teléfono móvil puede visualizar su aprendizaje, el lugar y el tiempo en que sucedió este proceso y el aprendizaje registrado de sus pares. Los autores proponen un sistema que combina *Time-Map*, mapas de tiempo, con grafos en red que facilita la visualización de información espacio-temporal en diferentes contextos. Los mapas de tiempo son sistemas de visualización de datos temporales integrados a información geográfica Geographic Information System (GIS) (Johnson y Wilson, 2009), para que el aprendiz visualice el conocimiento, repase lo que aprendió y el lugar donde sucedió el aprendizaje durante un periodo, demarcado por una línea de tiempo; esto le serviría al estudiante para hacer metacognición sobre

su propio conocimiento. En el sistema de visualización de Mouri *et al.* (2015), el conocimiento aprendido en un contexto auténtico por el estudiante (p. ej., conceptos relacionados con la elaboración de un sistema de riego del jardín de su propia casa) se registra en la nube utilizando un dispositivo móvil. De la misma forma, sucede con sus pares que aprenden en otros contextos diferentes el mismo conocimiento (p. ej., conceptos relacionados con la elaboración de otros sistemas de riego del jardín de diferentes casas); posteriormente el estudiante puede visualizar, analizar y comparar los conceptos de sus pares aplicados a sus propios contextos. Así mismo, puede leer en la pantalla del teléfono la realimentación transmitida del ciberespacio proveniente del centro de procesamiento computacional sobre conceptos relacionados con el conocimiento base (ontologías) en otros contextos.

4. Espacio para actividades de aprendizaje adaptadas al aprendiz. Este módulo asigna tareas de aprendizaje con base en el análisis de la información del aprendiz que cruza datos sobre el rendimiento del individuo, el reporte de factores personales y las metas de aprendizaje para determinar patrones comportamentales utilizando técnicas de *Big Data* como *Learning Analytics* (Hasnine, Ogata, Akçapınar, Mouri y Uosaki, 2019; Yin, Uosaki, Chu, Hwang, Liu, Hwang, Hatono, Kumamoto y Tabata, 2017). Este tipo de tareas compromete al aprendiz en la observación de características de actividades de aprendizaje auténtico en diferentes contextos (la casa, el campo, la industria, entre otras), consulta de información en bases documentales de la web, relacionadas con la tarea, respuestas a preguntas sobre la tarea de aprendizaje para que el sistema retroalimente al individuo, presentándole conocimientos y materiales relacionados con la tarea, soportándolo con aplicaciones de *software* o suministrándole orientación pedagógica adaptada a las necesidades de aprendizaje. Estos elementos provienen de bases de conocimiento dispuestos en servidores locales y memoria en el ciberespacio (nube). La computación en la nube es un espacio de interacción de las personas que se puede convertir en un escenario para desarrollar procesos de aprendizaje como se describe en la próxima sección.

En la figura 18 se presenta una propuesta de un ambiente de aprendizaje ubicuo que incorpora inteligencia artificial, retomando las teorías de Hwang (2014) y Mouri y Ogata (2015). El prototipo consiste en un sistema de aprendizaje desarrollado en contextos auténticos activos (casa, taller, aserradero), con participación de varios aprendices, cuyo objetivo de aprendizaje es la apropiación de conocimiento a partir de la elaboración de una base rodante para madera. El conocimiento relacionado con la construcción de este artefacto incluiría: conceptos matemáticos (p. ej., cálculo de área, volumen y parámetros de medición), conceptos de diseño (p. ej., estructura, dimensiones), conceptos de biología (p. ej., composición de la madera, preservación del bosque), conceptos de física (p. ej., resistencia, dureza de la madera), conceptos mecánicos (p. ej., rodamientos), entre otros. La tarea y guía de aprendizaje es administrada por el equipo pedagógico (profesor, investigador pedagógico, diseñador y otros profesionales que hagan parte de este grupo). En el sistema de aprendizaje participan varios estudiantes (pares) en diferentes contextos auténticos (p. ej., el bosque y aserradero, el taller de maderas), el conocimiento adquirido de cada estudiante en su contexto prevé enriquecer a los demás a partir del flujo de información transmitido vía inalámbrica (redes inalámbricas de alta velocidad, *Wireless Fidelity*, *WiFi*; señales de radio *Radio-frequency identification* RFID; sistemas de ubicación *Global Positioning System*, GPS), que se canaliza en el ciberespacio, producto del internet de las cosas, en el que se obtienen los registros tomados de los sensores y dispositivos tecnológicos (p. ej. teléfonos inteligentes *smartphone*, relojes de pulso *Biowatch*, cámaras digitales con sensores *Sensocam*, rastreadores oculares *Eye Mark Recorder*, códigos para acceso inmediato de la información QR - *Quick Response*) en los diferentes contextos de aprendizaje. Los registros de datos (texto, videos, imágenes, audios) originados del monitoreo del comportamiento, la evaluación de su estilo cognitivo (Witkin *et al.*, 1977) y la interacción del propio estudiante y sus pares con las situaciones de aprendizaje dadas en diferentes ambientes (aserrado de la madera, ensamble de la base rodante, preservación del bosque) y los objetos utilizados en el contexto auténtico (listones de madera,

rodamientos, herramientas, clavos, entre otros), transmitidos por redes inalámbricas, serían almacenados en la nube y procesados y analizados en un centro de cómputo, utilizando técnicas de analíticas de aprendizaje *Learning Analytics* o minería de datos educativos *Educational Data Mining* (Hasnine *et al.*, 2019). El equipo pedagógico apoyado en los resultados del análisis de datos y los patrones comportamentales obtenidos, tanto del estudiante como de la situación de aprendizaje, es el encargado de diseñar andamiajes, estrategias, tareas, materiales de aprendizaje para adaptarlas a los estudiantes en su proceso de aprendizaje a través de la realimentación dada por las redes inalámbricas. El enlace del conocimiento de los estudiantes, acumulado en el ciberespacio, se realizaría por *smartphone* o la web del computador en una interfaz de visualización como la planteada por Mouri *et al.* (2015). En ella, los aprendices pueden compartir y visualizar la información con sus pares, accediendo a las relaciones conceptuales de todos, adquiridas en cada uno de sus contextos y las realimentaciones del profesor basadas en estrategias de aprendizaje, información de la web relacionada con el tema de estudio, orientación de las tareas, información de su rendimiento, sistema de evaluación, entre otros. El sistema de evaluación toma como base los registros de información sobre los conocimientos adquiridos por el estudiante en el contexto auténtico de aprendizaje para adaptar pruebas estandarizadas (p. ej., pruebas de selección múltiple sobre texto e imágenes, preguntas de respuesta “sí” o “no”, preguntas sobre consulta de información, entre otras). Dichas pruebas serían aplicadas varias veces con el mismo contenido, con el fin de reafirmar el conocimiento retenido por el aprendiz; estas son transmitidas vía inalámbrica, en tiempo real durante el proceso de aprendizaje, y sirven de ayuda para que el aprendiz se autoevalúe, recuerde lo aprendido, investigue, recapitule, incorpore nuevas estrategias y consulte información en la web, al mismo tiempo que está inmerso en la tarea de aprendizaje (Li, Chiu y Tseng, 2019; Li, Ogata, Hou, Uosaki y Yano, 2012). Esto le permite autorregularse, monitoreando y controlando su proceso de aprendizaje (Nelson y Narens, 1990; Winne y Hadwin, 1998; Zimmerman, 2002).

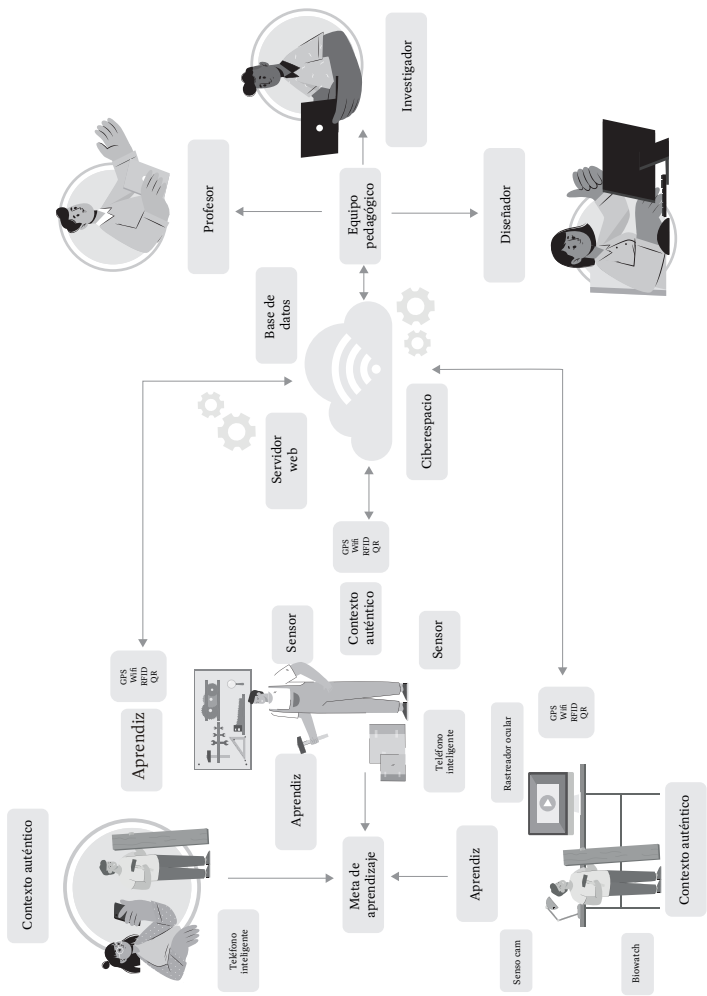


Figura 18. Propuesta de un ambiente de aprendizaje ubicuo inteligente.

Fuente: elaboración propia.

En resumen, un ambiente de aprendizaje ubicuo inteligente es un sistema que utiliza inteligencia artificial y dispositivos tecnológicos avanzados (internet de las cosas, tecnologías ubicuas) para reconocer lo que aprende un estudiante y la forma como lo aprende en un ambiente auténtico, en función de adaptar su aprendizaje con actividades, tareas, métodos y estrategias reales, en contextos y tiempo real (Hwang, 2014, Mouri y Ogata, 2015; Kanagarajan y Ramakrishnan, 2018).

Aprendizaje en la nube

La computación en la nube se origina en la necesidad de almacenamiento, manejo de grandes volúmenes de datos y uso de recursos virtuales. Una de las tecnologías que alimenta la nube es el internet de las cosas, cuya tecnología adquiere, recolecta y transfiere los datos provenientes de diferentes fuentes de información relacionadas con objetos reales (Mircea, Stoica y Ghilic-Micu, 2017; Zhou, Leppänen, Harjula, Ylianttila, Ojala, Yu, Jin y Yang, 2013). La computación en la nube es un escenario provisto de un andamiaje para integrar dispositivos de monitorización, espacio de almacenamiento, herramientas de análisis y visualización, espacios de colaboración e interacción (Gubbi *et al.*, 2013). Según Zhou *et al.* (2013), la computación en la nube es una plataforma diseñada con el objeto de disponer servicios de *software* (base de datos, ambientes de programación) para desarrollar, probar, correr, desplegar y mantener aplicaciones desde cualquier lugar con conexión a internet. Una revisión de la literatura y la teoría de algunos autores sobre esta tecnología propone una arquitectura de la nube compuesta por los siguientes módulos: servidor central (*datacenter*), infraestructura, plataforma de desarrollo y *software* disponible (Mell y Grance, 2009; Zhang, Cheng y Boutaba, 2010). El servidor central (*datacenter*) es una infraestructura física controlada ambientalmente, compuesta por computadores utilizados como servidores web y sistemas de telecomunicación, en los que se almacenan y se distribuyen los

recursos en la nube. La infraestructura de la nube Infrastructure as a Service (IaaS) es un componente virtual para manejo y control de recursos de procesamiento, almacenaje, conexión en red, generación de máquinas virtuales para escalar programas (p. ej., Google Compute Engine), dispuestos en los servidores centrales para ser utilizados por un usuario. La plataforma de desarrollo Platform as a Service (PaaS), también conocido como ambiente virtual operativo utilizado en la ejecución de aplicaciones de *software*, se refiere a los recursos dispuestos como soporte para operar el sistema en el desarrollo de programas, documentos y *software* a partir de los medios dispuestos en la máquina virtual (p. ej., Google App Engine). El *software* disponible relacionado con las aplicaciones de multimedia y servicios de la web, Software as a Service (SaaS), están dispuestos y activos en la nube para ser accedidos y ejecutados desde computadores personales por todos los usuarios (p. ej., Google Doc, Dropbox).

Cuando se hace referencia a la computación en la nube aplicada a la educación, se puede discernir del concepto la posibilidad que ofrece esta tecnología al estudiante para que pueda conectarse por internet desde cualquier lugar y a cualquier tiempo, en función de acceder a la utilización de programas, a la visualización de contenidos, al almacenamiento de información proveniente de objetos y acciones, compartir conocimiento con sus pares, utilizar estrategias pedagógicas (Arpaci, 2017; Saini, Jyoti y Harpreet, 2017). La integración de estas actividades tiene como propósito configurar su propio ambiente de aprendizaje para la realización de su tarea educativa. Al hacer una conexión de la computación en la nube con el internet de las cosas se predice un sistema de aprendizaje en un contexto auténtico, en el que el estudiante a través de su dispositivo móvil lograría acceder en línea (*online*), desde su contexto natural real a todas las aplicaciones e información dispuesta en la nube, que requiere para desarrollar su actividad de aprendizaje (Saini *et al.*, 2017), esto hace que las dos tecnologías se complementen (Chao, 2011; Zhou *et al.*, 2013), cumpliendo una función de ofrecer un entorno rico de recursos para el aprendizaje.

La proyección de un ambiente de aprendizaje soportado en la nube (Figura 19) se discurre como un sistema que habilita la gestión de conocimiento que es utilizado por los aprendices en diferentes contextos auténticos (Arpaci, 2017; Mitchell, 2003; Nonaka y Takeuchi, 1995). Esta tecnología facilita los medios para desarrollar los procesos de gestión de conocimiento establecidos a partir de la adquisición, la creación de nuevo conocimiento, la recuperación, el almacenamiento, la transferencia y la aplicación (Turban, Outland, King, Jae-Kyu, Ting-Peng y Turban, 2018; Turban, Sharda y Denle, 2011). La figura 19. muestra la conexión de los aprendices y profesores con los servicios de *software* en la nube para la elaboración de un proyecto manejado desde diferentes contextos de aprendizaje auténtico que utilizan computación ubicua. Así mismo se observa el apoyo del servicio técnico en la disposición de aplicaciones a través de la plataforma en la nube. Todos los recursos están conectados a través de redes inalámbricas con servidores centrales y alojados en bases de datos.

Un ambiente de aprendizaje ligado a la computación en la nube supone caracterizarse por los siguientes escenarios (Arpaci, 2017):

1. Un primer escenario de adquisición, creación y renovación de conocimiento almacenado en la nube. Esto se explica como el conocimiento adquirido por un aprendiz en un contexto auténtico que utiliza tecnologías ubicuas y se consolida como aprendizaje. El producto del aprendizaje genera nuevo conocimiento ampliado para ser compartido con otros pares y profesores (Nonaka, 1994). La nube funciona como el centro de almacenamiento y disponibilidad del nuevo conocimiento para ser utilizado en cualquier lugar y cualquier tiempo. El mismo sería reemplazado por conocimiento existente, que actualiza la base de conocimiento almacenada en la nube.
2. Un segundo escenario de almacenamiento en la nube implica un espacio para almacenar y acceder a información textual y archivos del conocimiento creado y adquirido por los aprendices. Allí el estudiante puede realizar consultas, recordar lo aprendido, revisar documentos, entre otros.

3. Un tercer escenario dispuesto para compartir conocimiento. En este espacio, la computación en la nube sirve como instrumento para compartir conocimiento en diferentes vías: estudiantes y pares, estudiante y profesor, y estudiante y equipo de trabajo cuando se trata de colaboración en la ejecución de proyectos y tareas o la resolución de problemas.
4. Un cuarto escenario se refiere a un ambiente de experimentación. Este espacio en la nube facilitaría la realización de proyectos de manera colaborativa, el estudiante junto a sus pares estaría trabajando en la aplicación de conocimiento en un mismo proyecto, en el que centra sus esfuerzos para la construcción de un mismo documento con interacción de varios actores. El desarrollo de un proyecto canaliza las nuevas ideas de distintos actores. Este sincronismo y organización se realizan acudiendo a programas dispuestos en la nube.
5. Un quinto escenario de entrenamiento en manejo de tecnología. Para este caso la computación en la nube se constituye en un espacio de desarrollo de habilidades en el manejo de programas de computación (p. ej., hojas de cálculo, bases de datos, procesadores gráficos, entre otros), utilizados por el estudiante en la interacción con sus recursos de aprendizaje.

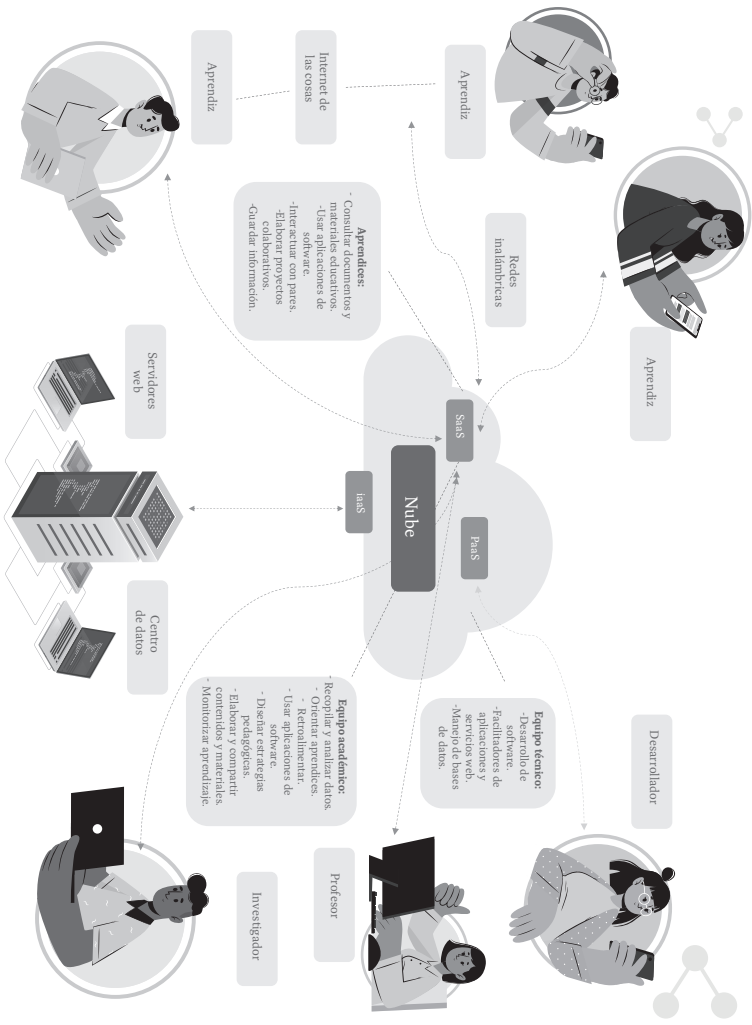


Figura 19. Propuesta de un ambiente de aprendizaje soportado en la nube.
Fuente: elaboración propia.

Ecosistemas de aprendizaje

En el contexto natural, un ambiente ecológico se visualiza como un conjunto de estructuras anidadas, interrelacionadas de manera radial. La capa más interna es considerada como el entorno de desarrollo de la persona (casa, escuela, trabajo) (Bronfenbrenner, 1979). Las relaciones entre el desarrollo de la persona y su entorno inmediato conforman un microsistema. Un entorno en el microsistema se caracteriza por el lugar físico, el tiempo, los objetos, la actividad y el rol que desempeñan los actores (p. ej., profesor, estudiante) en ese ambiente (Bronfenbrenner, 1977). En términos generales, el ser humano se desarrolla en un ecosistema compuesto por microsistemas, en los que sus interacciones sociales se dan en diferentes entornos: la escuela, la casa, la familia, el parque, el campo, la ciudad, entre otros.

Bronfenbrenner (1977) define “la ecología del desarrollo humano como el estudio científico de la adaptación progresiva y mutua, a lo largo de la vida, entre un organismo humano en crecimiento y el cambio del entorno inmediato en el que vive [...]” (p. 514). Al respecto, Plowman (2016) considera dos dimensiones de la ecología: una temporal y otra espacial. La dimensión temporal establece una conexión adaptada al tiempo, mientras que la dimensión espacial incluye entornos físicos, límites, redes y relaciones. Precisamente, estas dimensiones se conjugan con la conexión y distribución entre las tecnologías digitales y los contextos naturales, lo que genera espacios para el aprendizaje. Según Barron (2006), esta configuración se define como “ecologías de aprendizaje” o “ecosistemas de aprendizaje”. Para contextualizar las ecologías de aprendizaje, acudimos a los ecosistemas sociales. Un ecosistema social se piensa como un ambiente autorregulado complejo, en el que todos los agentes tanto naturales (personas) como artificiales (objetos, sistemas, entornos) se interrelacionan e interactúan basados en unos principios para crear y compartir conocimiento y aprendizajes, teniendo como meta la supervivencia

y la sostenibilidad del sistema ecosocial (Lemke, 2000). Allí existe un equilibrio manejado por el monitoreo y control de los agentes que hacen parte del ecosistema, que se adaptan, se autorregulan, se autoorganizan y se recomponen formando su propia ecología para evolucionar de manera constante y contribuir a mantener vivo el ecosistema (Marten, 2001; Stacey, 1996). Una instancia de esta teoría es la ecología de aprendizaje en la web, definida por Seely Brown (2000) como un ambiente adaptativo, abierto, diverso y complejo conformado por recursos y agentes dinámicos interdependientes que conforman una comunidad autoorganizada en constante evolución, con intereses y experiencias superpuestas focalizadas para ser compartidas e irradiadas en función de la creación de bienes de conocimiento.

La inclusión de las tecnologías digitales en la creación de ecologías de aprendizaje configura los ambientes de aprendizaje interactivos como entornos ecológicos (Johnson, 2014). En estos ecosistemas educativos, Johnson sitúa teóricamente al aprendiz en una serie de sistemas anidados que proyectan a la persona como un ser bioecológico en interacción con diferentes ambientes de aprendizaje, teniendo como fin el desarrollo de sus habilidades. El aprendizaje como un proceso ecológico, está influenciado por los niveles de desarrollo del individuo (físico, motivacional, social y cognitivo), puestos en evidencia a través de la práctica de sus experiencias en un proceso interactivo de construcción de sus ecologías de aprendizaje para la creación de nuevo conocimiento (Jackson, 2016).

En la perspectiva ecológica del aprendizaje se enmarcarían los “espacios de afinidad” (Engerman, 2016; Gee, 2017; Gee y Hayes, 2011), como un tipo de aprendizaje situado en el que todos los elementos y condiciones físicas y virtuales confluyen en oportunidades que motivan el aprendizaje de los individuos a partir del desarrollo de temas y prácticas afines para solucionar problemas en un ambiente auténtico propio (casa, escuela, lugar de diversión) conectado a un solo fin (Duncan y Hayes, 2012). En este contexto, el aprendizaje se reconoce como un proceso cognitivo dinámico creciente, adaptado a los cambios constantes del ecosistema en el

que el ser humano se desarrolla. Una instancia de un “espacio de afinidad” de un aprendiz son los ambientes de aprendizaje basados en juegos a través de la web; estos espacios se caracterizan por la afinidad o empatía en la solución de problemas, en la elaboración de proyectos propios, en la toma de decisiones, en el trabajo realizado en colaboración con otros participantes (Engerman y Carr-Chellman, 2017). La solución de problemas planteados en el juego y modificados por el aprendiz se constituye en un “atractor” del “espacio de afinidad”, afín a todos los participantes.

Un entorno de aprendizaje basado en juegos a través de la web incluye todos los recursos que utiliza el aprendiz para crear sus propias ecologías para aprender y desarrollar conocimiento, solucionar los problemas planteados, conectar los diferentes sitios para la realización de las actividades y conectarse con todas las ecologías de otras personas con quienes interactúa cotidianamente para evolucionar hacia metas enfocadas hacia el mismo interés. Las intervenciones de los aprendices se convierten en interacciones bidireccionales con el ambiente de juego; esta actividad modifica el ambiente de aprendizaje o viceversa; en otro sentido, el aprendiz reconstruye el juego, modificándolo de acuerdo con su experiencia y conveniencia para crear nuevo conocimiento y alcanzar nuevos logros de aprendizaje (Luckin, 2008). El mapeo que hace seguimiento a las rutas de aprendizaje, a las actividades asociadas con la tarea realizada, a los recursos utilizados, a los cambios en el ambiente de juego, y a los espacios físicos y virtuales a los que accede por el aprendiz en un periodo de tiempo, daría razón de un “espacio de afinidad”, que sirve para modelar el proceso de aprendizaje del individuo, así como de otros pares y los cambios en el contexto de aprendizaje. En la tarea de modelamiento, el mapeo tiene como objeto comparar la afinidad de los modelos de los pares conectados con la actividad del aprendiz, los cambios en la transformación de los modelos realizados por el aprendiz en la solución de los problemas, las actividades y los intereses educativos de los pares. Con esta información el profesor tendría la posibilidad de apoyar un desarrollo completo del aprendizaje

a través del diseño de andamiajes efectivos que serían optativos para el estudiante (Gee, 2017). Algunos recursos accedidos por el aprendiz tendrían que ver con las páginas que navega y consulta, los sitios de internet visitados (sitios web), los recursos de *software* con los cuales interactúa, la información y los medios digitales a los que accede, los videos accedidos, las redes de conexión para comunicarse y compartir información con pares afines a su trabajo, los documentos que consulta, los cursos que toma, los elementos que utiliza en diferentes lugares afines a la solución de los problemas (casa, escuela, parque, campo, entre otros).

Basados en los principios de Jackson (2016) y Siemens (2007) sobre las ecologías de aprendizaje y los elementos propuestos en el estudio de González-Sanmamed, Muñoz-Carril y Santos-Caamaño (2019), se plantea un modelo hipotético que distingue tres ecosistemas proyectados a lo largo de la vida de un individuo (figura 20). Uno pasado, relacionado con las experiencias previas que han generado aprendizajes iniciales en el individuo; otro presente, motivado intrínsecamente y alineado por los intereses y necesidades del individuo para fijar proyectos de aprendizaje actual en un contexto informal; y, uno futuro, encaminado a la prospectiva sobre la generalización de sus habilidades y competencias en nuevos contextos. Cada uno de estos escenarios se nutre de la integración de recursos tanto personales como materiales, relaciones interpersonales, actividades y estrategias encaminadas a procesos de desarrollo y diferentes contextos físicos, culturales y sociales relacionados con la asequibilidad y desarrollo del aprendizaje.

Las diversas ecologías creadas por el aprendiz a lo largo de su vida se desarrollan en paralelo con sus capacidades cognitivas, metacognitivas y autorreguladoras. Estos escenarios de crecimiento muestran la generación de un ecosistema de aprendizaje que interrelaciona todos sus recursos para producir nuevo conocimiento y aprendizaje como una forma de interacción del individuo con su entorno de vida. Para dar un ejemplo de esta transformación, imaginemos a un estudiante creando su propia ecología de aprendizaje en un tiempo presente y en un contexto informal (figura 20).

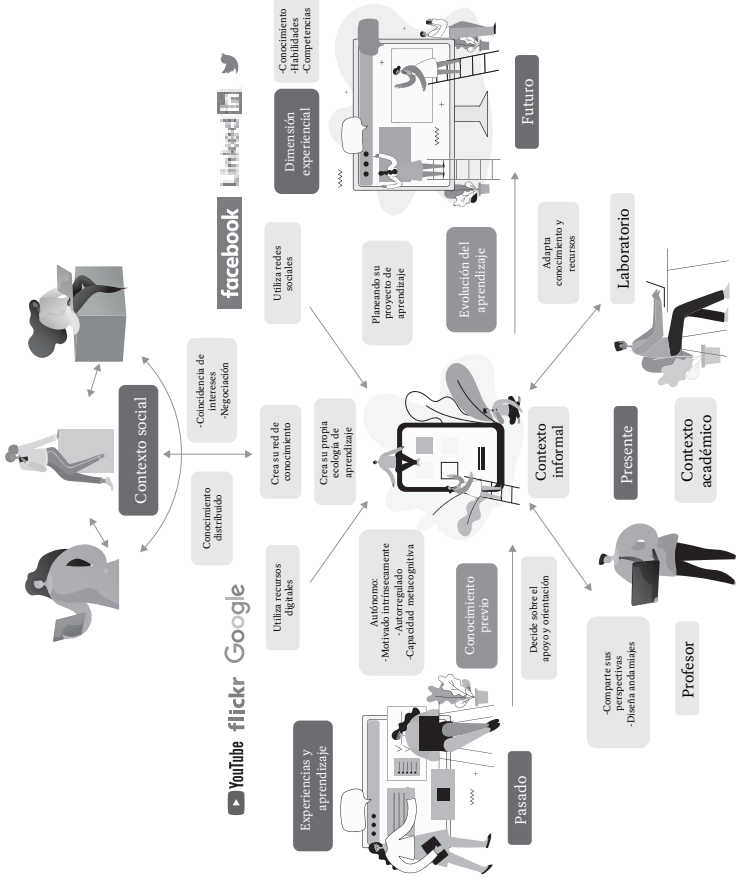


Figura 20. Propuesta de una ecología de aprendizaje.
Fuente: elaboración propia.

Este proyecto de aprendizaje estaría basado en la motivación intrínseca del aprendiz, promovida por su nivel de autoeficacia, lo que implica juicios sobre sus capacidades, conocimiento para desarrollar su proyecto de aprendizaje y la fijación de metas sobre sus intereses y necesidades (Linnenbrink y Pintrich, 2003). En este proceso también desempeña un rol importante la autorregulación y la metacognición, pues el aprendiz se vería inmerso en un proceso de razonamiento para reflexionar y decidir sobre lo que va a hacer, la relevancia del proyecto en su aprendizaje, la planeación de actividades, estrategias y recursos para seguir su proyecto, los contextos a los que debe acudir, el tiempo que planea gastar, el progreso y los logros de su aprendizaje (Zimmerman, 2000; 2008). En el plano metacognitivo, el aprendiz se vería comprometido en un proceso de autoobservación para monitorizar su desempeño y las condiciones del avance de su proyecto. El control de esta información le permitiría ajustar sus acciones, sus metas y su desempeño a partir de la autoevaluación y el refinamiento de sus planes y estrategias (Jackson, 2016).

Se piensa la ecología del ejemplo (figura 20) como un sistema conectado con diferentes contextos, en los que el aprendiz actúa, adaptando e integrando todos los recursos para construir su proyecto de aprendizaje; el rol del aprendiz en este escenario es ser autor, director y asesor de su proceso de aprendizaje (Gerstein, 2014). Todas las acciones del aprendiz estarían dirigidas a la planeación de actividades y estrategias que le sirven para actuar y operar de manera autónoma en un ambiente de aprendizaje específico informal, estructurado por él mismo; para ello adopta los recursos necesarios en su aprendizaje con el fin de alcanzar los objetivos que ha planeado en el desarrollo de su proyecto de vida. Al respecto, Barron (2006) distingue cinco estrategias que sustentan el desarrollo de un contexto de actividades en un proyecto de aprendizaje: obtener información de diferentes fuentes (libros, internet, experiencias previas, entre otros); crear actividades interactivas motivadas por ideas innovadoras, oportunidades, experiencias o proyectos previos; explorar recursos y medios tecnológicos

(*software*, prototipos, experiencias de otros pares, entre otros); buscar métodos de aprendizaje estructurado formal e informal (currículo formal de la escuela, contextos de aprendizaje informal en la casa, taller, laboratorio, empresa, entre otros); y conformar redes sociales para propagar el conocimiento (grupos de interés con pares, diseñadores y expertos, redes colaborativas con pares y profesores, redes de apoyo con padres y familiares).

Las acciones del aprendiz implican la utilización de recursos tanto materiales y virtuales como humanos; estos cumplen la función de mediadores de las actividades del estudiante, y se convierten en elementos dinámicos que interactúan y se modifican, dependiendo del contexto de aprendizaje. Los recursos materiales como los libros, la web, las redes inalámbricas, el internet de las cosas, el currículo formal, un laboratorio, los objetos de la casa, los dispositivos tecnológicos conducen al aprendiz a generar conocimiento, a interactuar con pares, a configurar redes de conocimiento, a transformar y crear nuevos contextos de aprendizaje (González-Sanmamed *et al.*, 2019; Jackson, 2016). Las relaciones derivadas de la interacción social con la familia, los pares, los profesores, los expertos, los investigadores, los diseñadores, entre otros, se convierten en un recurso humano si están enlazadas a las actividades de aprendizaje y comprometidas por el aprendiz en la construcción de su propia ecología del aprendizaje. Los contextos de aprendizaje se ubican en espacios físicos o virtuales, distribuidos y ligados a las actividades de aprendizaje para formar la ecología. Los contextos están dispuestos en la familia, en los sitios personales y académicos, en los ambientes socioculturales. Cada contexto se ubica y toma relevancia según las necesidades y oportunidades donde sucede el aprendizaje y se encamina a la producción de conocimiento colectivo (inteligencia distribuida); de esta manera, aporta al diseño que realiza el estudiante de su proyecto de aprendizaje. Precisamente en el tema siguiente se mencionan las redes como un contexto de conocimiento distribuido en el que sucede el aprendizaje.

Conectivismo para aprendizaje en la web semántica

La visión del conectivismo implica la distribución de conocimiento e información en las redes como internet. Los grandes volúmenes de información que transitan a través de la web ofrecen un escenario diverso en el que se engranan diferentes fuentes de conocimiento disponible para los aprendices, quienes tienen la oportunidad de razonar inteligentemente para explorar y apropiarse de patrones de información útiles en su aprendizaje. En este sentido, el aprendizaje se formaliza como la habilidad para la búsqueda y conexión de patrones provenientes de diferentes fuentes de información que son significativos en la construcción de conocimiento del aprendiz (Downes, 2007).

Siemens (2004) caracteriza el conectivismo a partir de la variedad de conocimiento que transita por las redes, lo que origina un aprendizaje continuo, generado por la conexión de nodos o fuentes especializadas. En este proceso, el aprendiz tiene la posibilidad de acceder y explorar una amplia variedad de recursos para elegir su contenido de aprendizaje a través de la búsqueda de conocimiento preciso y actualizado en un mundo en el que se cambia y se actualiza la información cada instante. Otras posibilidades derivadas del conectivismo encaminan al individuo a relacionar el conocimiento que ha explorado en la web con sus experiencias y conocimientos previos, a crear sus propios objetos de aprendizaje utilizando herramientas de internet como Blog, Youtube, Flickr, entre otros, y a compartir su trabajo haciendo uso de las redes sociales como Facebook, Twitter, Instagram, entre otros (Kop, 2011).

Un ambiente de aprendizaje conectivista se asimila a una ecología de aprendizaje en la medida en que el aprendiz decide sobre su contenido de aprendizaje basado en sus propios objetivos, juicios, intereses y necesidades. De manera autónoma elige sus recursos y la información relevante para su aprendizaje; utiliza redes sociales para formar su propia comunidad de aprendizaje; se apoya en profesores, expertos, compañeros y otros agentes sociales para adaptar y compartir recursos que sugiere a sus pares en la

cocreación de proyectos de aprendizaje; utiliza recursos digitales para compartir demostraciones de los métodos y procesos exitosos en sus proyectos de aprendizaje; decide sobre la realimentación de sus profesores y pares que mejor se adapta a su ejercicio de aprendizaje (Gerstein, 2014).

Los principios conectivistas generan un nuevo escenario de aprendizaje en el que se incorporan tecnologías web 3.0 o web semántica para apoyar la búsqueda y organización de fuentes de información y elementos multimediales, facilitando la conexión de diferentes fuentes de información para generar ontologías de una variedad de conceptos dispuestos semánticamente en recursos de aprendizaje (Foroughi, Yan, Shi y Chong, 2015). Un ambiente de aprendizaje conectivista apoyado en la web semántica consistiría en un sistema que proporciona conocimiento significativo, abstraído de diferentes fuentes de información y organizado semánticamente para ser utilizado de manera inteligente en el desarrollo de habilidades cognoscitivas. El papel del estudiante en este contexto se traduce en observar, conectar y evaluar información proveniente de múltiples fuentes y medios para clasificarla e incorporarla en su sistema cognitivo.

La web semántica o web 3.0 evolucionó el *e-learning* o aprendizaje en línea, transformándolo desde un estado de proveer información para el aprendizaje hasta un estado en el que el aprendiz construye, monitoriza y controla su propio aprendizaje, a la par que comparte sus objetos de conocimiento a partir de la información distribuida en la web, creando nuevos significados con ayuda de las redes de aprendizaje que conforma con sus pares (Jackson, 2016).

Una de las características de la web semántica es la organización de las fuentes de conocimiento, este proceso se realiza a través de un modelo de representación ontológico, conformado por una arquitectura que conecta las piezas de información de manera estructurada y semántica, lo que genera una conexión significativa y lógica de nodos, expuestos en conceptos, documentos y objetos multimediales, disponibles para ser accedidos a través de búsquedas inteligentes (Foroughi *et al.*, 2015). La ontología de la web semántica está establecida en un marco de organización de conocimiento basado en conceptos y relaciones para captar

las diferentes fuentes de información derivadas de documentos, contenidos científicos, vínculos con sitios web, blogs, representaciones multimediales (imágenes, videos, sonido, avatar, programas), elaboraciones conceptuales de las personas, entre otras (Ohler, 2008). Este conocimiento se integra en modelos de representación, habilitando a los computadores a comprender su significado por medio de agentes inteligentes que filtran, interpretan, analizan, transforman y reutilizan datos a través de programas con el objeto de proveer información estructurada y clasificada (metadatos), para ser administrada y controlada por los usuarios de acuerdo a sus requerimientos (Isotani, Mizoguchi, Isotani, Capeli, Isotani, Albuquerque, Bittencourt y Jaques, 2013; Berners-Lee, Hendler y Lassila, 2001; Yu, 2007).

Los enlaces de la web semántica establecen una conexión con información multimedial como la realidad aumentada definida en el contexto del internet inmersivo, tema que será objeto de discusión en el siguiente apartado, como un ambiente que superpone objetos virtuales en un mundo real que mejora la percepción de los usuarios (Green, 2011). A partir de esta aproximación la visión de la web bidimensional se transforma en un modelo tridimensional denominado web espacial, en el que existe la superposición de un mundo físico digitalizado con mundos virtuales imaginarios de objetos reales (Carraro Lab, 2016).

Realidad aumentada para la generación de ambientes de aprendizaje

La realidad aumentada se incorpora con un gran potencial en los ambientes de aprendizaje apoyados en tecnologías digitales. La realidad aumentada como una tecnología inmersiva crea dos escenarios superpuestos para dejar ver la dinámica de los objetos virtuales en un mundo real. Un primer escenario está compuesto por los objetos virtuales inmersos en un segundo escenario del mundo real, los aprendices tienen la posibilidad de observar e interactuar

con objetos virtuales transferidos a contextos reales. La inmersión consiste en la creación de experiencias que teletransportan a la persona en mundo de estimulación sensorial, emocional y perceptual en el que explora y descubre nuevos contextos, objetos y procesos. Las interacciones dadas en proceso de inmersión llevan al usuario a manipular objetos virtuales (p. ej., rotándolos, ubicándolos en un lugar, separándolos del contexto real), convirtiendo este mundo virtual en una forma de aprendizaje situado en cuyo contexto la persona puede percibir y aprender sobre la forma del objeto, su utilización, su composición y otras propiedades (Huynh, Ibrahim, Chang, Höllerer y O'Donovan, 2018). La inmersión requiere del uso de dispositivos portátiles como teléfonos móviles inteligentes, cámaras y sensores integrados a gafas, pantallas tridimensionales, entre otros equipos, lo cual conforma un ambiente completamente ubicuo, adaptable a las condiciones de la persona que explora para ir descubriendo e interactuando en este mundo virtual. Con la integración de dispositivos en un mundo real y virtual, la realidad aumentada es un facilitador de la computación ubicua, considerándose un potenciador de la inteligencia del ambiente (Remagnino y Foresti, 2005), el conocimiento situado y el internet de las cosas (Olsson, Lagerstam, Kärkkäinen y Väänänen-Vainio-Mattila, 2013).

Azuma (1997) define la realidad aumentada como una variedad de la realidad virtual, espacio en el cual la inmersión del usuario se da a través de la observación de objetos virtuales superpuestos en mundos reales, el panorama presentado a la persona parecería como un mundo de objetos virtuales y reales coexistiendo en un mismo espacio. Milgram y Kishino (1994) definen este espacio en una taxonomía de realidad mixta compuesta por la integración y fusión del mundo real y el mundo virtual, donde los objetos físicos se complementan e interactúan con los objetos virtuales.

Un posible ambiente de aprendizaje apoyado en realidad aumentada consistiría en la superposición de dos entornos: físico y virtual. El entorno físico es un mundo real de una situación de aprendizaje (p. ej., cultivar un arbusto) y el entorno virtual se asimila a un avatar tridimensional que realiza acciones o actividades en el ambiente

real tridimensional para resolver un problema (p. ej., producir nutrientes para el cultivo), realizar una tarea (p. ej., preparar la tierra) o interactuar con un juego. La organización de este ambiente de aprendizaje mixto se encamina a proveer recursos, tanto de *software* en tres dimensiones como interconexión con internet de las cosas para llevar al estudiante a interactuar en un mundo inmersivo de *e-learning* en tres dimensiones y una rotación de 360° (Carrara Lab, 2016), lo que convierte este escenario en una plataforma espacial, completamente ubicua. De esta forma existe una integración de objetos físicos con mundos reales, transformando este espacio en una interfase para la interacción del estudiante con actividades de aprendizaje en contextos auténticos.

Así como la realidad aumentada muestra un mundo inmersivo que relaciona los objetos virtuales con los entornos reales, la robótica se concentra en un escenario físico donde sus dispositivos actúan de manera inteligente, simulando los movimientos y acciones del comportamiento humano en un contexto auténtico. Sin embargo, las dos tecnologías convergen en la creación de escenarios de aprendizaje. Karim, Lemaignan y Mondada, (2015) plantean que la fusión de la realidad aumentada con la robótica serviría para mostrar en tiempo real estados invisibles para el robot. De la misma forma, ayudarían a los estudiantes a visualizar conceptos invisibles y abstractos como vectores, fuerza, velocidad, gravedad, magnetismo. El tema que sigue a continuación dará una aproximación a las posibilidades de la robótica en educación.

Robótica en educación

La integración de la robótica a los sistemas de aprendizaje genera ambientes que imitan el comportamiento humano en interacción con los estudiantes. Un robot se comportaría como un compañero confidencial, tangible y motivador en el proceso de aprendizaje. Un robot ayudaría a la construcción de modelos mentales relacionados con los conocimientos previos de los estudiantes; del mismo modo, ayudaría a la comprensión de conceptos abstractos alineados con

la representación física dada por el robot (Utgaard, 2014). Estudios previos muestran el potencial de los robots en el aprendizaje. Por ejemplo, Chen, Quadir y Teng (2011) integraron el robot, los libros y el computador en ambiente de aprendizaje del inglés a través de actividades como el aprendizaje de vocabulario, la conversación, la danza y el canto con participación del robot. Los resultados de esta experiencia mostraron una mayor motivación y compromiso en las actividades de aprendizaje, proporcionadas por los movimientos del robot y la confidencialidad de primera persona que este humanoide generaba en la conversación con los estudiantes. Existen otros estudios que aplican la robótica en el aprendizaje de conceptos matemáticos (p. ej., distancia, radio, ángulos; Norton, 2004; Utgaard, 2014) y conceptos físicos (p. ej., leyes del movimiento, velocidad; Williams, Ma, Prejean, Ford y Lai, 2007).

El aprendizaje apoyado en robots se origina en los principios constructivistas de Papert, desarrollados en el micromundo geométrico de la tortuga; su visión en este escenario lo llevó a imaginar un espacio de interacción del estudiante con el robot para el desarrollo de habilidades en la solución de problemas, motivado por la práctica experimental (Papert, 1980). Los términos robótica educativa y aprendizaje basado en robots difieren en alguna medida, puesto que el primero estaría encaminado al aprendizaje interdisciplinario de campos de conocimientos de la ingeniería, la matemática, la electrónica y la computación relacionados con el diseño, construcción y programación del robot, mientras que el segundo se refiere al aprendizaje interactivo de diferentes dominios asistido por el robot (Barker y Ansorge, 2007; Karim *et al.*, 2015).

Un robot autónomo es un agente inteligente que actúa seleccionando algún tipo de acción en respuesta a los cambios del entorno. En educación un robot debería cumplir características de ubicuidad, versatilidad y practicidad. Desde la ubicuidad el robot debe ser confiable y fácilmente reemplazable para adaptarse a cualquier contexto y en todo momento, la versatilidad le permitiría su aplicación en diferentes escenarios de aprendizaje como una herramienta adaptable para el estudio de cualquier tema en

particular y, finalmente, en el sentido práctico debe ser fácil de manipular y confiable para el estudiante (Özgür, Lemaignan, Johal, Beltran, Briod, Pereyre, Mondada y Dillenbourg, 2017). Estas características facilitarían la construcción de escenarios de aprendizaje donde los robots sirven como objetos de aprendizaje, manipulables por los estudiantes en el desarrollo de tareas o actividades espaciales relacionadas con temas matemáticos, físicos, geográficos, entre otros.

Un ambiente de aprendizaje apoyado en robots sería considerado como un entorno físico real, representando una situación de aprendizaje (p. ej., contexto de un problema) relacionada con un dominio de conocimiento. La interacción del robot estaría dada por las acciones y movimientos autónomos o regulados por el estudiante en el escenario de la tarea. La comunicación entre el estudiante, el contexto de aprendizaje y el robot se establece a partir de recursos digitales como la tableta o el teléfono inteligente, utilizados por el aprendiz para visualizar, monitorizar, alimentar y coordinar de manera virtual la actividad de aprendizaje en el contexto real donde actúa el robot. El estudiante tendría la posibilidad de manipular y modificar el entorno físico y calibrar el robot para que se adapte a las condiciones de la tarea de aprendizaje (Özgür *et al.*, 2017).

Síntesis del capítulo

La integración de las tecnologías digitales a cualquier situación pedagógica es fundamental para generar nuevos modelos de aprendizaje. Estos modelos trascienden a otros contextos y culturas y, de esta manera, posibilitan su aplicación en otros ambientes con probabilidad de éxito. El diseño futurista de ambientes de aprendizaje apoyados en tecnologías digitales está basado en pedagogías que comprometen contextos de la vida real en verdaderos ecosistemas de aprendizaje auténtico, esto garantizaría el aprendizaje para el desarrollo de habilidades sostenibles en el tiempo (Meriläinen y Piispanen, 2018). Una situación de aprendizaje auténtico dispondría de todos los recursos para guiar al estudiante

en la construcción de sus aprendizajes a partir de la integración de diferentes campos de conocimiento. En este sentido, el sistema de aprendizaje debe facilitar los recursos físicos, tecnológicos y conceptuales para empalmar el conocimiento dentro de la institución con el conocimiento del contexto vivencial del aprendiz fuera de la escuela. Según Kumpulainen, Krokfors, Lipponen, Tissari, Hilppö y Rajala (2015), el aprendizaje se considera como un proceso holístico y dinámico, en el que el desarrollo de la persona se desenvuelve en la comunidad con su cultura, sus prácticas y su interacción con los objetos del ambiente que lo rodea, es decir, la evolución del aprendizaje se da en un contexto social, donde el aprendiz se relaciona con su entorno cultural para interactuar con sus semejantes y los objetos físicos de su ambiente. En este sentido, el aprendizaje está dado por la interacción del aprendiz con su entorno, de tal forma que actúa de manera auténtica en la construcción de conocimiento a partir de prácticas de su vida real con participación de sus pares y profesores (Piispanen y Meriläinen, 2015).

En épocas actuales, en las que las epidemias y problemas agobian a la población y la confinan a un mayor aislamiento, se pensaría en aprovechar los contextos habitacionales como centros de desarrollo de actividades auténticas que configuren verdaderos escenarios de aprendizaje con el concurso de recursos de comunicación y uso de tecnologías digitales, para garantizar la interacción de los aprendices con sus profesores, pares, objetos físicos, ambientes domésticos y demás personas. En estos ambientes de aprendizaje contextual, los recursos de aprendizaje apoyados en tecnologías digitales son habilitados en el tiempo y sitio que el estudiante lo requiera, aprovechando sus habilidades previas y los contextos habituales de la familia (Meriläinen *et al.*, 2018). Allí el aprendiz desempeña un rol central en el procesamiento de información y en la construcción de conocimiento (Piispanen *et al.*, 2015).

Los temas tratados en este capítulo proporcionan una gran variedad de teorías y herramientas para constituir verdaderos escenarios de aprendizaje que satisfagan las necesidades de los estudiantes en diferentes contextos. Por ejemplo, la implementación

de internet de las cosas en la construcción de ecosistemas de aprendizaje ubicuo, señalarían el futuro de la educación con uso de tecnologías digitales. Siendo la educación un proceso social, existen algunos factores afectivos y personales que deberían ser abarcados cuando se diseña un ambiente de aprendizaje, estos aspectos se refieren a la motivación, la autorregulación, la interacción social, el contexto cultural, entre otros. Los ambientes de aprendizaje en el futuro deberán incorporar inteligencia artificial para el diseño y modelamiento de estas características en función de responder a las necesidades de aprendizaje de los educandos.

Referencias

- Affectiva (2013). Q-Sensor (2.0) [physiological measurement hardware]. Waltham, MA: Affectiva.
- Akhras F.N. y Self, J.A. (2000). Modeling the process, not the product of learning. En S. P. Lajoie, *Computers as cognitive tools*, volume two: No more walls (pp. 3 - 28). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Akhras, F.N. (2011). Situating Learning for Digital Inclusion in the Social Context of Communities. *Journal of Community Informatics*, 7(1-2), 1-11.
- Alais, D. y Burr, D. (2004). The ventriloquist effect results from near-optimal bimodal integration. *Current Biology* 14, 257-262. DOI:10.1016/j.cub.2004.01.029
- Anderson, J. R. (1983). *The Architecture of cognition*, Cambridge. Harvard University Press.
- Anderson, J. R., y Bower, G. H. (2014). *Human associative memory*. Psychology Press.
- Anderson, J. R., Greeno, J. G., Reder, L. M., y Simon, H. A. (2000). Perspectives on Learning, Thinking, and Activity. *Educational Researcher*, 29(4), 11. DOI:10.2307/1176453
- Anderson, J. R., Reder, L. M., y Simon, H. A. (1996). Situated learning and education. *Educational Researcher*, 25(4), 5-11.
- Anderson, J.R. (1993). Knowledge Representation. En J. R. Anderson Rules of the mind (17-45). Lawrence Erlbaum Associates. <https://doi.org/10.7771/1541-5015.1004>
- Anderson, J.R., Matessa, M. y Leviere, C. (1997). ACT-R: A theory of higher-level cognition and its relation to visual attention. *Human Computer Interaction*, 12, 439-462.
- Arpaci, I. (2017). Antecedents and consequences of cloud computing adoption in education to achieve knowledge management. *Computers in Human Behavior*, 70, 382-390.
- Arunachalam, V. y Sasso, W. (1996). Cognitive Processes in Program Comprehension: An Empirical Analysis in the Context of Software Reengineering. *Journal Systems Software*, 34, 177-189.
- Azevedo, R. y Gašević, D. (2019). Analyzing Multimodal Multichannel Data about Self-Regulated Learning with Advanced Learning Technologies: Issues and Challenges. *Computers in Human Behavior*, 96, 207-210. <https://doi.org/10.1016/J.CHB.2019.03.025>
- Azevedo, R. y Hadwin, A.F. (2005). Scaffolding self-regulated learning and metacognition - Implications for the design of computer-based scaffolds. *Educational Psychology Review*, 20, 429-444 DOI 10.1007/s10648-008-9080-9

- Azevedo, R. (2014). Metacognition and Self-Regulated Learning: Issues, Interdisciplinary Methods, and Advanced Learning Technologies (Slides 1-47). Laboratory for the Study of Metacognition and Advanced Learning Technologies, Department of Psychology, NC State University.
- Azevedo, R. (2015). Defining and Measuring Engagement and Learning in Science: Conceptual, Theoretical, Methodological, and Analytical Issues. *Educational Psychologist*, 50(1), 84-94. DOI: 10.1080/00461520.2015.1004069
- Azevedo, R. y Aleven, V. (2013). Metacognition and Learning Technologies: An Overview of Current Interdisciplinary Research. En: R. Azevedo y V. Aleven. *International Handbook of Metacognition and Learning Technologies* (pp. 1-18). Springer.
- Azevedo, R., Harley, J., Trevors, G., Duffy, M., Feyzi-Behnagh, R., Bouchet, F. y Landis, R. (2013). Using Trace Data to Examine the Complex Roles of Cognitive, Metacognitive, and Emotional Self-Regulatory Processes During Learning with Multi-agent Systems. En R. Azevedo y V. Aleven (Eds.), *International Handbook of Metacognition and Learning Technologies* (pp. 427-449). Springer. DOI:10.1007/978-1-4419-7554-6_28.
- Azevedo, R., Moos, D.C., Johnson, A.M. y Chauncey, A.D. (2010). Measuring Cognitive and Metacognitive Regulatory Processes During Hypermedia Learning: Issues and Challenges, *Educational Psychologist*, 45(4), 210-223, doi: 10.1080/00461520.2010.515934
- Azevedo, R., Witherspoon, A., Chauncey, A., Burkett, C. y Fike, A. (2009). MetaTutor: A MetaCognitive Tool for Enhancing Self-Regulated Learning. AAAI Fall Symposium "Cognitive and Metacognitive Educational Systems" (pp. 14-19). Arlington, VI.
- Azuma, R.T. (1997). A Survey of Augmented Reality. *Teleoperators and Virtual Environments*, 6(4), 355-385.
- Baddeley, A. (1992). Working memory. *Science*, 255, 556-559. DOI:10.1126/science.1736359
- Baker, D., Bridges, D., Hunter, R., Johnson, G., Krupa, J., Murphy, J. y Sorenson, K. (2001). Guidebook to decision-making methods. USA Department of Energy, WSRC-IM-2002-00002.
- Baker, R. S. J. d. (2011). Data Mining for Education. En International Encyclopedia of Education, 3rd ed., edited by B. McGaw, P. Peterson, and E. Baker. Elsevier.
- Baker, R., y Siemens, G. (2014). Educational data mining and learning analytics. En K. Sawyer (Ed.), *The Cambridge handbook of the learning sciences* (2nd ed., pp. 253-274). Cambridge University Press.
- Baker, R.S. (2019). Challenges for the Future of Educational Data Mining: The Baker Learning Analytics Prizes. *Journal of Educational Data Mining*, 11(1), 1-17.
- Baker, S., e Inventado, P. S. (2016). Educational data mining and learning analytics: Potentials and possibilities for online education. In G. Veletsianos (Ed.), *Emergence and Innovation in Digital Learning* (83-98). DOI:10.15215/aupress/9781771991490.01

- Bandura, A. (1977). *Social learning theory*. Prentice Hall.
- Bandura, A. (1986). *Social foundations of thought and action: A social cognitive theory*. Prentice-Hall.
- Bannert, M. (2009). Promoting self-regulated learning through prompts. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 23(2), 139- 145.
- Barab, S. A., y Roth (2006) Curriculum-based ecosystems: Supporting knowing from an ecological perspective. *Educational Researcher*, 35(5), 3-13
- Barker, B.S. y Ansoorge, J. (2007). Robotics as means to increase achievement scores in an informal learning environment. *Journal of Research on Technology in Education*, 39(3):229-243.
- Baron-Cohen, S. (2020). *The pattern seekers: A new theory of human invention*. Penguin Books.
- Barron, B. (2006). Interest and Self-Sustained Learning as Catalysts of Development: A Learning Ecology Perspective. *Human Development*, 49,193-224. DOI: 10.1159/000094368.
- Barrows, H.S. (1986). A taxonomy of problem-based learning methods. *Medical Education*, 20(6), 481-486. DOI:10.1111/j.1365-2923.1986.tb01386.x
- Baylor, A. L. (2011). The design of motivational agents and avatars. *Educational Technology Research and Development*, 59(2), 291-300.
- Bernacki, M. L., Nokes-Malach, T. J., y Aleven, V. (2013). Fine-Grained Assessment of Motivation over Long Periods of Learning with an Intelligent Tutoring System: Methodology, Advantages, and Preliminary Results. *Springer International Handbooks of Education*, 629-644. DOI:10.1007/978-1-4419-5546-3_41.
- Berners-Lee, T., Hendler, J. y Lassila, O. (2001). *The Semantic Web*. *Scientific American*, 284, 34-43.
- Berthold, K., Nückles, M., y Renkl, A. (2007). Do learning protocols support learning strategies and outcomes? The role of cognitive and metacognitive prompts. *Learning and Instruction*, 17(5), 564-577. DOI:10.1016/j.learninstruc.2007.09.007
- Biggs, J.B. (1989). Approaches to the enhancement of tertiary teaching. *Higher Education Research and Development*, 8, pp. 7-25.
- Biggs, J.B. (1993) What do inventories of students' learning processes really measure? A theoretical review and clarification. *British Journal of Educational Psychology*, 63, pp. 3-19.
- Bobin, M., Amroun, H., Boukalle, M., Anastassova, M. y Ammi, M. (2018). Smart Cup to Monitor Stroke Patients Activities during Everyday Life. IEEE Confs on Internet of Things, Green Computing and Communications, Cyber, Physical and Social Computing, Smart Data, Blockchain, Computer and Information Technology, Congress on Cybermatics, (p.189-195). Halifax, CA.
- Bohanec, M. (2009). Decision making: a computer-science and information-technology viewpoint. *Interdisciplinary Description of Complex Systems* 7(2), 22-37.

- Bransford, J. D., Sherwood, R. D., Hasselbring, T. S., Kinzer, C. K., y Williams, S. M. (1990). Anchored instruction: Why we need it and how technology can help. *Cognition, Education, and Multimedia: Exploring Ideas in High Technology*, 115-141.
- Breuer, H. y Matsumoto, M. (2011). Ubiquitous Learning Environments: Notions of Context, Application Scenarios and Reflective Stories. En T. Bastiaens y M. Ebner (Eds.), *Proceedings of ED-MEDIA 2011--World Conference on Educational Multimedia, Hypermedia & Telecommunications* (pp. 2366-2374). Lisboa, Portugal: Association for the Advancement of Computing in Education (AACE).
- Briner, M. (1999). What is constructivism? University of Colorado at Denver School of Education. <https://curriculum.calstatela.edu/faculty/psparks/theorists/501const.htm>
- Bronfenbrenner, U. (1977). *Toward an Experimental Ecology of Human Development*. *American Psychologist*, 513-531.
- Bronfenbrenner, U. (1979). The ecology of human development. Harvard University Press (p.1-15).
- Brown, J.S., Collins, A. and Duguid, P. (1989). Situated Cognition and the Culture of Learning. *Educational Researcher*, 18(1), 32-42.
- Brusilovsky, P. y Millan, E. (2007). User models for adaptive hypermedia and adaptive educational systems. En *The Adaptive Web*, P. Brusilovsky, A. Kobsa, and W. Nejdl (Eds.) *Lecture Notes in Computer Science Series*, vol. 4321. Springer Berlin / Heidelberg, 3-53.
- Brusilovsky, P. (1999). Adaptive and intelligent technologies for web-based education. En C. Rollinger y C. Peylo (Eds.), *Special issue on intelligent systems and teleteaching*, 4, (pp. 19-25), *Künstliche Intelligenz*.
- Burleson, W. (2013). Affective Learning Companions and the Adoption of Metacognitive Strategies. *Springer International Handbooks of Education*, 645-657. DOI:10.1007/978-1-4419-5546-3_42
- Burton, J.K., Moore, D.M., y Magliaro, S.G. (2004). Behaviorism and instructional technology. In D.H. Jonassen (Ed.), *Handbook of research on educational communications and technology* (2nd ed., pp. 3-36). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Calvet Liñán, L., y Juan Pérez, Á. A. (2015). Educational Data Mining and Learning Analytics: differences, similarities, and time evolution. *RUSC. Universities and Knowledge Society Journal*, 12(3). pp. 98-112.
- Caroni, P., Donato, F. y Muller, D. (2012). Structural plasticity upon learning: regulation and functions. *Nature Reviews Neuroscience*, 13 (7), p. 478-90. DOI: 10.1038/nrn3258
- Carraro Lab (2016). Web 3.0 - Virtual and Augmented Reality on the Internet. (recurso en línea). <https://www.carraro-lab.com/web-3-0-virtual-augmented-reality-internet/>.
- Chao, H-C. (2011). Internet of Things and Cloud computing for future Internet. En C-H. Hsu, L.T. Yang, J. Ma y C. Zhu (Eds.) *Ubiquitous Intelligence and Computing*, 1. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

- Chaplot, D.S., MacLellan, C., Salakhutdinov, R. y Koedinger, K. (2018). *Learning Cognitive Models Using Neural Networks*. Carnegie Mellon University.
- Chen, L., Peng, C. y Zhang, J. (2010). *The Study Of Anchored Instruction's Application Based On Web3D*. 2nd international Conference on Education Technology and Computer (ICETC), V4, 526-529.
- Chen, W. y Mizoguchi, R. (1999). *Communication content ontology for learner model agent in multi-agent architecture*. Proceedings of AIED99 Workshop on Ontologies for Intelligent Educational Systems.
- Cheng, Z., Sun, S., Kansan, M., Huang, T. y He, A. (2005). *A Personalized Ubiquitous Education Support Environment by Comparing Learning Instructional Requirement with Learner's Behavior*. 19th International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA'05) (1-7), Taipei, Taiwan. DOI: 10.1016/j.chb.2017.01.024
- Chernikova, O., Heitzmann, N, Stadler, M., Holzberger, D., Seidel, T. y Fischer, F. (2020). Simulation-Based Learning in Higher Education: A Meta-Analysis. *Review of Educational Research*, 90 (4), pp. 499-541 doi:10.3102/0034654320933544
- Chi, M.T.H. y Ohlsson, S. (2005). Complex declarative learning. En K. J. Holyoak y R.G. Morrison (Eds.), *The Cambridge Handbook of Thinking and Reasoning* (pp. 371-399). Cambridge University Press.
- Chi, M.T.H. (1997). Quantifying Qualitative Analyses of Verbal Data: A Practical Guide. *The Journal of the Learning Sciences*, 6(3), 271-315.
- Chieu, V. M. (2005). Constructivist learning: An operational approach for designing adaptive learning environments supporting cognitive flexibility (documento inédito). Louvain-la-Neuve, BE: Université catholique de Louvain.
- Clemen, R. T. (1996). *Making hard decisions: An Introduction to decision analysis*. Duxbury Press.
- Cohn, M. (2004). *User Stories Applied: For Agile Software Development*. Addison-Wesley Professional, Reading.
- CTGV. (1990). Anchored instruction and its relationship to situated cognition. *Educational Researcher*, 19(6), 2-10.
- Demetriadis, S. (2004). Interaction between learner's internal and external representations in multimedia environment: a state-of-the-art. European Commission: Hal-00190213. doi:10.1016/j.neunet.2008.08.004.
- Dillenbourg, P. y Jermann, P. (2010). Technology for classroom orchestration. En M. S Khine and I. M. Saleh (Eds) *New Science of Learning: Cognition, Computers and Collaboration in Education*. Springer. DOI: 10.1007/978-1-4419-5716-0_26
- Dillenbourg, P., Schneider, D. y Synteta, P. (2002). Virtual Learning Environments. En 3rd Hellenic Conference: Information & Communication Technologies in Education, pp.3- 18. Rhodes, Greece.

- Domagk, S. (2010). Do Pedagogical Agents Facilitate Learner Motivation and Learning Outcomes?: The Role of the Appeal of Agent's Appearance and Voice. *Journal of Media Psychology* 22(2), 82-95.
- Dreyfus, H y Dreyfus, S.E. (1986). *Mind Over Machine: The Power of Human Intuition and Expertise in the Era of the Computer*. The Free Press.
- Dreyfus, S.E. (2004). The Five-Stage Model of Adult Skill Acquisition. *Bulletin of Science, Technology & Society*, 24(3), 177-181. DOI: 10.1177/0270467604264992.
- Duffy, T.M. y Jonassen, D.H. (1991). Constructivism: New Implications for Instructional Technology? *Educational Technology*, 31(5), 7-12.
- Duncan, S.C. y Hayes, E. (2012). Expanding the affinity space: an introduction. En E. Hayes y S.C. Duncan (Eds.) *Learning in Video Game Affinity Spaces* (p.1-22). Peter Lang.
- Dunsworth, Q., y Atkinson, R. K. (2007). Fostering multimedia learning of science: Exploring the role of an animated agent's image. *Computers & Education*, 49(3), 677-690. DOI:10.1016/j.compedu.2005.11.010
- Ekman, P., y Friesen, W. V. (2003). *Unmasking the face: A guide to recognizing emotions from facial clues*. Malor Books. [http:// google.com/books](http://google.com/books).
- Engerman, J.A. y Carr-Chellman, A. (2017). Understanding Game-Based Learning Cultures: Introduction to Special Issue. *Educational Technology*, 57(2), 23-27.
- Engerman, J.A. (2016). Call of duty for adolescent boys: an ethnographic phenomenology of the experiences within a gaming culture. (tesis de doctorado) (p. 200-201). Pennsylvania State University. https://etda.libraries.psu.edu/files/final_submissions/12008
- Engestrom, Y. (1993). Developmental studies of work as a testbench of activity theory: The case of primary care medical practice. En S. Chaiklin y J. Lave (Eds.), *Understanding practice: Perspectives on activity and context* (pp. 64-103). Cambridge University Press.
- Ericsson, K. A. y Simon, H. A. (1993). *Protocol Analysis: Verbal Reports as Data*. MIT Press.
- Ernst, M.O. y Banks, M.S. (2002). Humans integrate visual and haptic information in a statistically optimal fashion. *Nature*, 415, 429-433. DOI:10.1038/415429a
- Evans, D. (2013). *Beyond Online Classes: How The Internet of Everything Is Transforming Education*. <https://blogs.cisco.com/digital/beyond-online-classes-how-the-internet-of-everything-is-transforming-education>.
- Fairclough, S.H., Ewing, K.C. y Roberts, J. (2009). Measuring Task Engagement as an Input to Physiological Computing. En Proc. of Int. Conf. on Affective Computing and Intelligent Interaction (pp. 1-9). IEEE.
- Fensel, D. (2001). *Ontologies: silver bullet for knowledge management and electronic commerce*. Springer-Verlag. Berlin, Heidelberg.

- Foroughi, A., Yan, G., Shi, H. y Chong, D. (2015). A Web 3.0 ontology based on similarity: a step toward facilitating learning in the Big Data age. *Journal of Management Analytics*, 1-17. DOI: 10.1080/23270012.2015.1067154
- Freire, P. (1985) *The Politics of Education: culture, power and liberation*. Bergin & Garvey.
- French, S. (1986). *Decision Theory: An Introduction to the Mathematics of Rationality*. Ellis Horwood Halsted Press.
- Friesen, W. V., y Ekman, P. (1983). EMFACS-7: Emotional facial action coding system. University of California.
- Gallese, V., Keysers, C., y Rizzolatti, G. (2004). A unifying view of the basis of social cognition. *Trends in Cognitive Sciences*, 8(9), 396-403. DOI:10.1016/j.tics.2004.07.002
- Ge, X., Chen, C. H. y Davis, K. A. (2005). Scaffolding novice instructional designers' problem-solving processes using question prompts in a web-based learning environment. *Journal of Educational Computing Research*, 33(2) 219-248.
- Gee, J.P. y Hayes, E.R. (2011). *Language and Learning in the Digital Age*. Routledge.
- Gee, J.P. (2017). Affinity Spaces and 21st Century Learning. *Educational Technology*, 57(2), 27-31.
- Gentner, D. y Holyoak, K.J. (1997). Reasoning and Learning by Analogy. *American Psychological Association*, 52 (1), p.32-34.
- Gentner, D. (1983). Structure-mapping: A theoretical framework. *Cognitive Science*, 7, 155-170.
- Gerstein, J. (2014) Moving from Education 1.0 Through Education 2.0 Towards Education 3.0. En L.M. Blaschke, C. Kenyon y S. Hase (Eds.) *Experiences in Self - Determined Learning* (pp.83-98). Scholar Works. Boise State University, Idaho. <https://usergeneratededucation.wordpress.com/author/jackiegerstein/>
- Giampaoli, D., Ciambotti, M. y Bontis, N. (2017). Knowledge management, problem solving and performance in top Italian firms. *Journal of Knowledge Management*, 21(2), 355-375. DOI: 10.1108/JKM-03-2016-0113
- Goel, V. y Pirolli, P. (1992). The Structure of Design Problem Spaces. *Cognitive Science* 16, 395-429.
- Graesser, A., y McNamara, D. (2010). Self-regulated learning in learning environments with pedagogical agents that interact in natural language. *Educational Psychologist*, 45(4), 234-244
- Grant, E. R., y Spivey, M. J. (2003). Eye movements and problem solving: Guiding attention guides thought. *Psychological Science*, 14, 462-466.
- Green, M. (2011). Better, smarter, faster: Web 3.0 and the future of learning. *Development and Learning in Organizations*, 25(6), 70-72.

- Greeno, J. G. (1998). The situativity of knowing, learning, and research. *American Psychologist*, 53(1), 5-26. <https://doi.org/10.1037/0003-066X.53.1.5>
- Greeno, J. G., Smith, D. R., y Moore, J. L. (1992). Transfer of situated learning. En D. Detterman y R. J. Sternberg (Eds.), *Transfer on trial: intelligence, cognition, and instruction* (pp. 99-167). Norwood, NJ: Ablex.
- Gruber, T. (1993). Toward Principles for the Design of Ontologies Used for Knowledge Sharing. *International Journal Human-Computer Studies* 43, 907-928. <https://doi.org/10.1007/s11251-005-1276-5>
- Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., y Palaniswami, M. (2013). Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Future Generation Computer Systems*, 29(7), 1645-1660. DOI:10.1016/j.future.2013.01.010
- Guerriero, M. L., Priami, C. y Heath, J. K. (2007). An Automated Translation from a Narrative Language for Biological Modelling into Process Algebra. En: Calder M, Gilmore S, editors, Proc. CMSB. Springer, volume 4695 of LNCS, 136-151.
- Hannafin, M. J., y Land, S. M. (2000). Technology and student-centered learning in higher education: Issues and practices. *Journal of Computing in Higher Education*, 12(1), 3-30. DOI:10.1007/bf03032712
- Hannafin, M.J., Hannafin, K.M., Hooper, S.R., Rieber, L.P. y Kini, A.S. (1996). Research on research with emerging technologies. En D.H. Jonassen (Ed.), *Handbook of research for educational communications and technology* (pp. 378-402). Macmillan. <http://dx.doi.org/10.1080/10494820.2011.649768>.
- Hasnine, M.N., Ogata, H., Akçapinar, G., Mouri, K. y Uosaki, N. (2019). Learning Analytics to Share and Reuse Authentic Learning Experiences in a Seamless Learning Environment. Proceedings of the 9th International Conference on Learning Analytics and Knowledge (LAK'19) (398-407).
- Heyes, C. (2018). *Cognitive Gadgets: The Cultural Evolution of Thinking*. The Belknap Press of Harvard University Press.
- Hmelo-Silver, C. E. y Barrows, H. S. (2006). Goals and Strategies of a Problem-based Learning Facilitator. *Interdisciplinary Journal of Problem-Based Learning*, 1(1).
- Hodges, S., Williams, L., Berry, E., Izadi, S., Srinivasan, J., Butler, A., Smyth, G. Kapur, N y Wood, K. (2006). SenseCam: A Retrospective Memory Aid. UbiComp 2006: *Ubiquitous Computing*, 177-193. DOI:10.1007/11853565_11
- Hollan, J., Hutchins, E. y Kirsh, D. (2000). Distributed cognition: toward a new foundation for human-computer interaction research. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*, 7, (2), 174-196. DOI: 10.1145/353485.353487
- Holland, J. H., Holyoak, K. J., Nisbett, R.E. y Thagard, P. (1986). *Induction: Processes of inference, learning, and discovery*. Cambridge, MA: MIT Press.

- Holyoak, K. J. y Nisbett, R. E. (1988). Induction. En R. J. Sternberg, E. E. Smith (Eds.) *The Psychology of Human Thought* (50-91). Cambridge: Cambridge University Press.
- Huertas, B. A., López, V. O. y Sanabria, R. L. B. (2018). Effect of a Meta-cognitive Scaffolding on Information Web Search. *The Electronic Journal of e-Learning*, 16(2), pp. 91-106, www.ejel.org
- Hughes, J. y Parkes, S. (2003). Trends in the use of verbal protocol analysis in software engineering research. *Behaviour & Information Technology*, 22(2), 127-140.
- Hung, W., Jonassen, D. H. y Liu, R. (2007). Problem-based Learning. En J. M. Spector, J. van Merriënboer, M. D. Merrill, and M. P. Driscoll (eds.), *Handbook of Research for Educational Communications and Technology* (pp. 485-505). Lawrence Erlbaum.
- Hutchins, E. (1995). How a cockpit remembers its speeds? *Cognitive Science*, 19(3), 265-288. doi:10.1016/0364-0213(95)90020-9
- Hutchins, E. L. y Klausen, T. 1996. Distributed cognition in an airline cockpit. En Y. Engeström and D. Middleton, Eds. *Cognition and Communication at Work*, Cambridge University Press, , 15-34.
- Huynh, Ibrahim, Chang, Höllerer, O'Donovan. (2018). A Study of Situated Product Recommendations in Augmented Reality. Conference IEEE International Conference on Artificial Intelligence and Virtual Reality (AIVR). 35-43
- Hwang, G. (2006). Criteria and Strategies of Ubiquitous Learning. Proceedings of the IEEE International Conference on Sensor Networks, Ubiquitous, and Trustworthy Computing (SUTC'06) (p.72-77). Taichung, Taiwan. doi: 10.1109/SUTC.2006.49
- Hwang, G. (2014). Definition, framework and research issues of smart learning environments - a context-aware ubiquitous learning perspective. *Smart Learning Environments*, 1(4), 1-14.
- Hwang, G.-J., Tsai, C.-C., y Yang, S. J. H. (2008). Criteria, Strategies and Research Issues of Context-Aware Ubiquitous Learning. *Educational Technology & Society*, 11 (2), 81-91.
- Ifenthaler, D. (2012). Determining the effectiveness of prompts for self-regulated learning in problem-solving scenarios. *Journal of Educational Technology and Society*, 15, 38-52.
- Isotani, S., Mizoguchi, R., Isotani, S., Capeli, O. M., Isotani, N., Albuquerque, A. R. P. L., Bittencourt, I. y Jaques, P. (2013). A Semantic Web-based authoring tool to facilitate the planning of collaborative learning scenarios compliant with learning theories. *Computers and Education*, 63, 267-284. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compedu.2012.12.009>
- Jackson, N. J. (2013). The Concept of Learning Ecologies. En N. J. Jackson and G. B. Cooper (eds) *Lifewide Learning, Education and Personal Development*. <http://www.lifewidebook.co.uk/research.html>.
- Jackson, N. J. (2016). *Exploring learning ecologies*. Chalk Mountain.
- Jacobs, R. A. (1999). Optimal integration of texture and motion cues to depth. *Vision Research* 39, 3621-3629. [https://doi.org/10.1016/S0042-6989\(99\)00088-7](https://doi.org/10.1016/S0042-6989(99)00088-7)

- Jetter, A. J. y Kok, K. (2014). Fuzzy Cognitive Maps for futures studies - A methodological assessment of concepts and methods, *Futures*, 61, 45-57. <http://dx.doi.org/10.1016/j.futures.2014.05.002>
- Johnson, A. y Taatgen, N. (2005). User modeling. En R. Proctor, K.B. Bennett, P.J. Stappers y D.P. Saakes (Eds.), *Handbook of human factors in web design*, 23, 424-438. Erlbaum.
- Johnson, G. M. (2014). The ecology of interactive learning environments: situating traditional theory. *Interactive Learning Environments*, 22 (3), 298-308, <http://dx.doi.org/10.1080/10494820.2011.649768>
- Johnson, L., Adams Becker, S., Estrada, V. y Freeman, A. (2014). NMC Horizon Report: 2014 K-12 Edition, 42-43. The New Media Consortium.
- Johnson-Laird, P. N. (1989). Mental models. En M. I. Posner (Ed.), *Foundations of cognitive science* (pp. 469-499). MIT Press.
- Jonassen, D. y Hernández-S., J. (2002). Case-Based Reasoning and Instructional Design: Using Stories to Support Problem Solving. *Educational Technology Research and Development*, 50 (2), 65-77.
- Jonassen, D., Howland, J., Moore, J., y Marra, R. (2003). *Learning to solve problems with technology: A constructivist perspective*. Merrill Prentice Hall.
- Jonassen, D. H. y Land, S.L. (2000). *Theoretical foundations of learning environments*. Lawrence Erlbaum Associates.
- Jonassen, D. H. (2000). Revisiting activity theory as a framework for designing student-centered learning environments. En D.H. Jonassen y S. Land (Eds.) *Theoretical Foundations of Learning Environments* (pp.89-122). Lawrence Erlbaum Associates.
- Jonassen, D. H. (2006). *Modeling with Technology: Mindtools for Conceptual Change*. Pearson Education, Inc.
- Jonassen, D. H., Beissner, K. y Yacci, M. (1993). *Structural Knowledge*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Jones, V. y Jo, J. H. (2004). Ubiquitous learning environment: An adaptive teaching system using ubiquitous technology. In R. Atkinson, C. McBeath, D. Jonas-Dwyer y R. Phillips (Eds), *Beyond the comfort zone: Proceedings of the 21st ASCILITE Conference* (pp. 468-474). Perth, AU. <http://www.ascilite.org.au/conferences/perth04/procs/jones.html>
- Kanagarajan, S. y Ramakrishnan, S. (2018). Ubiquitous and Ambient Intelligence Assisted Learning Environment Infrastructures Development - a review. *Education Information Technology*, 23, 569-598. DOI: 10.1007/s10639-017-9618-x
- Karim, M.E., Lemaignan, S. y Mondada, F. (2015). A review: Can robots reshape K-12 STEM education? En *Proceedings of the 2015 IEEE International Workshop on Advanced Robotics and its Social Impacts (ARSO)*, (pp. 1-8).

- Kauffman, D.F., Ge, X., Xie, K. y Chen, C-H. (2008). Prompting in web-based environments: supporting self-monitoring and problem solving skills in college students. *Journal Educational Computing Research*, 38(2) 115-137. DOI: 10.2190/EC.38.2.a
- Kay, J. (1995). The um toolkit for cooperative user modelling. *User Modelling and User-Adapted Interaction*, 4(3), 149-196. DOI:10.1007/bf01100243
- Kellman, P. J. (2002). Perceptual learning. In H. Pashler y R. Gallistel (Eds.), *Steven's handbook of experimental psychology: Learning, motivation, and emotion* (pp. 259-299). Hoboken, NJ, US: John Wiley & Sons Inc. <http://dx.doi.org/10.1002/0471214426.pas0307>
- Kellman, P.J., Massey, C.M. (2013). Perceptual Learning, Cognition, and Expertise. *The Psychology of Learning and Motivation*, 58,117-165. DOI:10.1016/b978-0-12-407237-4.00004-9.
- Kim, M.C., y Hannan, M.J. (2011). Scolding problem solving in technology-enhanced learning environments (TELEs): Bridging research and theory with practice. *Computers and Education*, 56, 403-417.
- Kim, Y., y Wei, Q. (2011). The impact of learner attributes and learner choice in an agent-based environment. *Computers & Education*, 56(2), 505-514. DOI:10.1016/j.compedu.2010.09.016
- Kindberg, T. y Fox, A. (2002). System Software for Ubiquitous Computing. *PERVASIVE Computing*, 70-81.
- King, A. (1992). Comparison of self-questioning, summarizing, and note-taking-review as strategies for learning from lectures. *American Educational Research Journal*, 29, 303-323.
- Kolodner, J.L. (1993). *Case-Based Reasoning*. Morgan Kaufmann.
- Körding, K. P. y Wolpert, D. M. (2006). Bayesian decision theory in sensorimotor control. *Trends in Cognitive Sciences*, 10, 319-326. DOI:10.1016/j.tics.2006.05.003
- Kosko, B. (1986). Fuzzy cognitive maps. *International Journal Man-Machine Studies*, 24(1), 65-75. DOI:10.1016/s0020-7373(86)80040-2
- Kozaki, K., Hihara, K. y Mizoguchi, R. (2011). Dynamic Is-a Hierarchy Generation for User-Centric Semantic Web. En Proc. of International Workshop on Ontologies come of Age in the Semantic Web (OCAS), Bonn, Germany.
- Kozaki, K., Kumazawa, T., Saito, O., y Mizoguchi, R. (2013). Ontology Exploration Tool for Social, Economic and Environmental Development. En Proc. of 7th IEEE International Conference on Digital Ecosystems and Technologies (IEEE DEST2013), 24-26 Menlo Park, California, USA.
- Kramarski, B., y Michalsky, T. (2010). Preparing preservice teachers for self-regulated learning in the context of technological pedagogical content knowledge. *Learning and Instruction*, 20, 434-447.
- Kramer, N. C., y Bente, G. (2010). Personalizing e-learning: The social effects of pedagogical agents. *Educational Psychology Review*, 22, 71-87.

- Kumpulainen, K., Krokfors, L., Lipponen, L., Tissari, V., Hilppö, J. y Rajala, A. (2009). *Learning Bridges - Toward Participatory Learning Environments* (pp.10-11). HELDA - The Digital Repository of University of Helsinki, Fi. <http://hdl.handle.net/10138/15631>
- Lajoie, S., y Derry, S. (1993). *Computers as cognitive tools*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Lajoie, S. P. (2000). Introduction: Breaking camp to find new summits. En S.P. Lajoie *Computers as cognitive tools, volume two: No more walls (xv - xxxii)*. Lawrence Erlbaum Associates.
- LAK'11 (2011). 1st International Conference on Learning Analytics and Knowledge. Banff, Alberta, CA.
- Land, S. y Jonassen, D. (2012). *Theoretical Foundations of Learning Environments*, Routledge.
- Landow, G. P., y Delany, P. (1991). Hypertext, hypermedia and literary studies: The state of the art. En P. Delany & G. P. Landow (Eds.), *Hypermedia and literary studies* (pp. 3-50). Massachusetts, MA: MIT Press.
- Lave, J., y Wenger, E. (1991). *Situated learning: Legitimate peripheral participation*. Cambridge University Press.
- Lewinski, P.; Fransen, M. L.; Tan, E.S.H. (2014). Predicting Advertising Effectiveness by Facial Expressions in Response to Amusing Persuasive Stimuli. *Journal of Neuroscience, Psychology, and Economics*, 7, 1-14.
- Li, M., Ogata, H., Hou, B., Uosaki, N. y Yano, Y. (2012). Personalization in Context-aware Ubiquitous Learning-Log System. Seventh IEEE International Conference on Wireless, Mobile and Ubiquitous Technology in Education (p.41-48). Takamatsu, Japan. doi:10.1109/WMUTE.2012.14
- Li, W., Chiu, C.-K., y Tseng, C.-R. (2019). Effects of a Personalized Navigation Support Approach on Students' Context Aware Ubiquitous Learning Performances. *Educational Technology & Society*, 22 (2), 56-70.
- Linnenbrink, E. A., y Pintrich, P. R. (2003). The role of self-efficacy beliefs in student engagement and learning in the classroom. *Reading & Writing Quarterly: Overcoming learning difficulties*, 19(2), 119-137. <https://doi.org/10.1080/10573560308223>
- Llinas, R. (2003). *El cerebro y el mito del yo. El papel de las neuronas en el pensamiento y el comportamiento humanos*. Editorial Norma.
- López, V. O., Sanabria, R. L. B y Buitrago, N. C. (2018). Efecto diferencial de un andamiaje metacognitivo sobre la autorregulación y el logro de aprendizaje en un ambiente de aprendizaje combinado. *Tecné, Episteme y Didaxis*, 44, 33-50.
- Lopez-Bendito, G. y Molnar, Z. (2003). Thalamocortical development: how are we going to get there? *Nature Review Neuroscience*, 4, 276-289. doi: 10.1038/nrn1075
- Luce, R. D. (1995). Four tensions concerning mathematical modeling in psychology. *Annual Review of Psychology*, 46, 1-26.

- Luciw, M. D., Jarocka, E. y Edin, B. B. (2014). Multi-channel EEG recordings during 3,936 grasp and lift trials with varying weight and friction. *Scientific Data* 1:140047. DOI: 10.1038/sdata.2014.47
- Luckin, R. (2008). The Learner Centric Ecology of Resources: A Framework for using Technology to Scaffold Learning. *Computers & Education*, 50, 449-462.
- Majewska, A. K. y Sur, M. (2006). Plasticity and specificity of cortical processing networks. *Trends in Neurosciences*, 29(6), pp. 323-329. DOI: 10.1016/j.tins.2006.04.002
- Maldonado, L. F. (2012). Virtualidad y aprendizaje: pedagogía para la equidad. ICONK Editorial.
- Maldonado, G. L. F. (2001). *Análisis de protocolos: posibilidad metodológica para el estudio de procesos cognitivos*. Universidad Pedagógica Nacional.
- Maldonado, G. L. F., Fonseca, O., Ibáñez, J., Macías, M. D., Ortega, N., Ortega, N., Rubio, M. Y Sanabria, R. L. B. (1999). Metacognición y razonamiento espacial en juegos de computador. Universidad Pedagógica Nacional e IDEP.
- Maldonado, G. L. F., López, V. O., Sanabria, R. L. B., Ibáñez, I.J., Sarmiento, V. L. C., Quintero, S. V. y Valencia, V. N. G. (2004). Aprendizaje Autorregulado de la Tecnología: teoría y práctica en el aula de clase. Universidad Pedagógica Nacional.
- Maldonado, G. L. F., Ortega del C. N., Sanabria, R. L. B. y Macías, M. D. (2001). Ontología y aprendizaje de la geografía: software para representar y software para comprender. Universidad Pedagógica Nacional - Colciencias.
- Maldonado, G. L. F., Ortega, N., Sanabria, R. L. B., Ibáñez, I.J. y Quintero, S. V. J. (2003). Agente de software Q y el aprendizaje de modelos conceptuales. *Tecne, Episteme & Didaxis*, 14, 19-40.
- Malmberg, J., Järvelä, S., Holappa, J., Haataja, E., Huang, X. y Siipo, A. (2019). Going beyond what is visible: what multichannel data can reveal about interaction in the context of collaborative learning? *Computers in Human Behavior*, 96, 235-245.
- Manyika, J., Chui, M., Brown, B., Bughin, J., Dobbs, R., Roxburgh, C., y Byers, A. H. (2011). *Big data: The next frontier for innovation, competition, and productivity*.
- Markus, M. L. (1990). Toward a "critical mass" theory of interactive media. En J. Fulk & C. Steinfeld (Eds.), *Organization and Communication Technology* (pp. 194-218). Sage.
- Martínez, B.J., Sanabria, R. L. B. y López, V. O. (2016). Relaciones entre logro de aprendizaje, automonitoreo, estilo cognitivo y estilos de aprendizaje en estudiantes de medicina. *Praxis & Saber*, 7(14), 141-164.
- Mayer, R. E. (2005). Cognitive theory of multimedia learning. En R. Mayer (Ed.), *Cambridge handbook of multimedia learning*, (pp. 31-48). Cambridge University Press.

- Mayer, R.E. (2007). Multimedia learning: Are we asking the right questions? *Educational Psychologist*, 32(1), 1-19. DOI: http://dx.doi.org/10.1207/s15326985ep3201_1
- Mell, P. y Grance, T. (2009). The NIST definition of Cloud computing. *National Institute of Standards and Technology*, 53(6). Information Technology Laboratory.
- Mercier, H. y Sperber, D. (2011). Why do humans reason? Arguments for an argumentative theory. *Behavioral and Brain Sciences* 34, 57 -111. DOI:10.1017/S0140525X10000968
- Meriläinen, M. y Piispanen, M. (2018). Ubiquitous Learning in Appropriate Learning Environments. *International Journal of Technology and Inclusive Education (IJTIE)*, 7(1), 1215-1223.
- Milgram, P, Kishino F (1994) A taxonomy of mixed reality visual displays. *IEICE Trans Inf Syst E77-D(12):1321-1329*
- Mircea, M., Stoica, M. y Ghilic-Micu, B. (2017). Using Cloud Computing to Address Challenges Raised by the Internet of Things. In Z. Mahmood (ed.), *Connected Environments for the Internet of Things*, Computer Communications and Networks, pp 63-82. Cham, SW: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-70102-8_4
- Mitchell, H. J. (2003). Technology and knowledge management: Is technology just an enabler or does it also add value? En *Knowledge management: Current issues and challenges*. Hershey: IRM Press.
- Mizoguchi, F., Ohwada, H., Nishiyama, H. y Iwasaki, H. (2013). Identifying Driver's Cognitive Load Using Inductive Logic Programming. En F. Riguzzi y F. Železny (Eds.) *Inductive Logic Programming* (166-177). Berlin Heidelberg: Springer-Verlag. DOI: 10.1007/978-3-642-38812-5.
- Mizoguchi, F., Nishiyama, H. y Iwasaki, H. (2014). A new approach to detecting distracted car drivers using eye-movement data. In *Proceedings 2014 IEEE 13th International Conference on Cognitive Informatics & Cognitive Computing (ICCI*CC'14)* (pp. 266-272).
- Moreno, R. y Mayer, R.E. (2007). Interactive Multimodal Learning Environments. Special Issue on Interactive Learning Environments: Contemporary Issues and Trends. *Educational Psychology Review*, 19, 309-326. DOI: 10.1007/s10648-007-9047-2
- Moreno, J. O., Sanabria, R. L. B. y López, V. O. (2016). Theoretical and Conceptual Approaches to Co-Regulation: A Theoretical Review. *Psychology*, 7, 1587- 1607. <http://dx.doi.org/10.4236/psych.2016.713153>
- Mouri, K. y Ogata, H. (2015). Ubiquitous learning analytics in the real-world language learning. *Smart Learning Environments*, 2(15), 1-18.
- Muela, H. C. S., Costa-Hong, V.A., Yassuda, M.S., Moraes, N.C., Memoria, C. M., Machado, M. F., Macedo, T.A., Shu, E. B. S., Massaro, A. R. y Nitrini, R. (2017). Hypertension severity is associated with impaired cognitive performance. *Journal of the American Heart Association* 6 e004579.

- Murphy, P. (1996). Defining Pedagogy. En P.F. Murphy and C.V. Gipps (Eds.), *Equity in the Classroom: Towards Effective Pedagogy for Girls and Boys*, 28 - 39. Unesco.
- Murphy, P. (2008). Defining Pedagogy. En K. Hall, P.F. Murphy y J. Soler (Eds.), *Pedagogy and practice: culture and identities*, 28 - 39. SAGE publications.
- NAC Image Technology Inc. (2019). Dispositivos de seguimiento ocular EYEMARK. Tokio, Japon. <https://www.eyemark.jp/>
- Nelson, T.O. y Narens, N. (1990). Metamemory: A Theoretical Framework and New Findings. *The Psychology of Learning and Motivation*, 26, 125-301.
- Newell, A., y Simon, H. A. (1972). *Human problem solving* Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Niederhauser, D. (2008). Educational hypertext research. In J. M. Spector, M. D. Merrill, J. van Merriënboer, y M. P. Driscoll (Eds.), *Handbook of research on educational communications and technology* (pp. 199-210). Lawrence Erlbaum Associates.
- Nilsson, M. y Nivre, J. (2009). Learning Where to Look: Modeling Eye Movements in Reading. *Proceedings of the Thirteenth Conference on Computational Natural Language Learning (CoNLL)*, pp. 93-101.
- Nisbett, R., y Wilson, T. (1977). Telling more than we can know: verbal reports on mental processes. *Psychological Review*, 84(3), 231-258.
- Nonaka, I., Toyama, R., y Nagata, A. (2000). A firm as a knowledge-creating entity: A new perspective on the theory of the firm. *Industrial and Corporate Change*, 9(1), 1-20.
- North, D. (2016). What's in a story? <http://dannorth.net/whats-in-a-story/>
- Norton, S. J. (2004). Using lego construction to develop ratio understanding. *Mathematics education for the third millennium: Towards 2010*, 414-421.
- Oaksford, M., Chater, N. y Stewart, N. (2012). Reasoning and decision making. En K. Frankish y W. Ramsey (Eds.), *The Cambridge Handbook of Cognitive Science* (pp.131-150). Cambridge: Cambridge University Press. DOI:10.1017/CBO9781139033916.010
- Ogata, H., y Yano, Y. (2004). Context-aware support for computer-supported ubiquitous learning. Proc. of IEEE International Workshop on Wireless and Mobile Technologies in Education, 27-34.
- Ogata, K. (2009). Supporting awareness in Ubiquitous learning. *International Journal of Mobile and Blended Learning*, 1(4), 1-11. DOI: 10.4018/jmbll.2009090801.
- Ohler, J. (2008). The semantic web in education: What happens when the read-write web gets smart enough to help us organize and evaluate the information it provides? *Educuse Quarterly*, 4,7 -9.
- Ohlsson, S. y Langley, P. (1988). Psychological evaluation of path hypothesis in cognitive diagnosis. En *Learning Issues for intelligent Tutoring Systems* (pp. 42-62). New York, NY: Springer - Verlag.

- Olsson, T., Lagerstam, E., Kärkkäinen, T. y Väänänen-Vainio-Mattila, K. (2013). Expected user experience of mobile augmented reality services: a user study in the context of shopping centres. *Personal and Ubiquitous Computing*, 17:287-304. doi: 10.1007/s00779-011-0494-x
- Osborne, M.J. y Rubinstein, A. (1994), *A Course in Game Theory* (pp. 1-8). The MIT Press.
- Özgür, A., Lemaignan, S., Johal, W., Beltran, M., Briod, M., Pereyre, L., Mondada F. y Dillenbourg, P. (2017). Cellulo: Versatile Handheld Robots for Education. In HRI '17: ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction Proceedings (pp. 119-127). doi: <http://dx.doi.org/10.1145/2909824.3020247>.
- Paiva, R., Bittencourt, I., Tenório, T., Jaques, P. y Isotani, S. (2016). What do students do on-line? Modeling students' interactions to improve their learning experience. *Computers in Human Behavior*, 64, 769-781.
- Papamitsiou, Z., y Economides, A. (2014). Learning Analytics and Educational Data Mining in Practice: A Systematic Literature Review of Empirical Evidence. *Educational Technology & Society*, 17(4), 49-64.
- Papert, S. (1980). *Mindstorms: Children, computers, and powerful ideas*. Basic Books, Inc. (pp.55-134) Publishers.
- Papert, S. (1984). *Microworlds: transforming education*. Conference held at the Annenberg School of Communications of the University of Southern California (pp. 79-94).
- Paramythis, A. y Loidl-Reisinger, S. (2004). Adaptive learning environments and elearning standards. *Electronic Journal on e-Learning*, 2(1), 181-194.
- Payne, D. G., y Wenger, M. J. (1998). *Cognitive psychology*. Houghton Mifflin.
- Perkins, D.N. (1991). Technology Meets Constructivism: Do They Make a Marriage? *Educational Technology*, 31(5), 18-23.
- Piaget, J. y Garcia, R. (1991). *Toward a logic of meanings*. Lawrence Erlbaum Associates.
- Piaget J. (1976). Piaget's Theory. En: Inhelder B., Chipman H.H., Zwingmann C. (eds) *Piaget and His School. Springer Study Edition*. Springer.
- Piispanen, M. y Meriläinen, M. (2015). Assessment as a Possibility for Individual Learning and Success in Contextual Pedagogical Learning Environment. *International Journal for Cross Disciplinary Subjects in Education (IJCDSE)*, 6(4), 2312 - 2321.
- Plakitsi, K. (2013). *Activity Theory in Formal and Informal Science Education* (pp.1-15). Sense Publishers.
- Plowman, L. (2016). Rethinking context: Digital technologies and children's everyday lives. *Children's Geographies*, 14(2), 190-202. <https://doi.org/10.1080/14733285.2015.1127326>.
- Plunkett, K. (1995). Language acquisition. En M.A. Arbib (Ed.) *The Handbook of Brain Theory and Neural Networks* (503 - 506). The MIT Press.

- Poggioli, L. (1994). *Efectos del Control del Estudiante sobre su Aprendizaje en Contextos de Instrucción Asistida por Computador*. Universidad Católica Andrés Bello.
- Polya, G. (1957). *How to solve it: a new aspect of mathematical method*. Princeton University Press.
- Pressley, M., Wood, E., Woloshyn, V. E., Martin, V., King, A., y Menke, D. (1992). Encouraging mindful use of prior knowledge: Attempting to construct explanatory answers facilitates learning. *Educational Psychologist*, 27, 91-109.
- Puntambekar, S. y Kolodner, J.L. (2005). Toward implementing distributed scaffolding: Helping students learn from design. *Journal of Research in Science Teaching*, 42, 185-217. doi:10.1002/tea.20048.
- Puntambekar, S., Stylianou, A. (2005). Designing Navigation Support in Hypertext Systems Based on Navigation Patterns. *Instructional Science*, 33, 451-481.
- Rabb, N., Fernbach, P.M. & Sloman, S.A. (2019). Individual Representation in a Community of Knowledge. *Trends in Cognitive Sciences*, 23, 10, 891-902.
- Radosavljevich, P.R. (1911). Pedagogy as a Science, The Pedagogical Seminary, 18,4, 551-558, doi: 10.1080/08919402.1911.10532801.
- Razmerita, L., Angehrn, A. y Maedche, A. (2003). Ontology-based User Modeling for Knowledge Management Systems. Proceedings of the User Modeling Conference, Pittsburgh, USA, Springer Verlag, pp. 213-217.
- Remagnino, P, Foresti, G.L. (2005). Ambient intelligence: a new multidisciplinary paradigm. IEEE Transactions on System, Man and Cybernetics. *Part A, Systems and Humans*, 35(1):1-6.
- Renkl, A., Skuballa, I. T., Schwonke, R., Harr, N., y Leber, J. (2015). The Effects of Rapid Assessments and Adaptive Restudy Prompts in Multimedia Learning. *Educational Technology & Society*, 18(4), 185-198.
- Robertson, W.C. (1990). Detection of cognitive structure with protocol data: Predicting performance on physics transfer problems. *Cognitive Science*, 14, 253-280. doi:10.1207/s15516709cog1402_3
- Rocha, S.T. (2018). A Behavior-Driven Approach for Specifying and Testing User Requirements in Interactive Systems.(Tesis de Doctorado), Université de Toulouse, France.
- Rodrigues, P. y Rosa, P.J. (2017). Eye - Tracking as a research methodology in educational context: a spanning framework. En C. Was, F. Sansosti, B. Morris (Eds.) *Eye-Tracking Technology Applications in Educational Research* (pp.1-26). Hersey, PA: IGI Global. doi: 10.4018/978-1-5225-1005-5.ch001.
- Roelfsema, P.R., Denys, D. y Klink, P.C. (2018). Mind reading and Writing: the future of neurotechnology. *Trends in Cognitive Sciences*, 22(7), 598 - 610. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2018.04.001>.

- Romero, C. y Ventura, S. (2007). Educational data mining: A survey from 1995 to 2005. *Expert Systems with Applications*, 33, 135-146.
- Romero, C., y Ventura, S. (2013). Data mining in education. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery*, 3(1), 12-27. DOI: 10.1002/widm.1075.
- Rosson, M.B. y Carroll, J.M. (2002). Usability engineering: scenario-based development of human-computer Interaction (pp.1-34). Academic Press.
- Roth, W.M. (2004). Introduction: Activity Theory and Education: An Introduction. *Mind, Culture, and Activity*, 11(1), 1-8. DOI:10.1207/s15327884mcal1101_1
- Saini, L., Jyoti y Harpreet, E. (2017). Role of Cloud Computing in Education System. *International Journal of Advanced Research in Computer Science*, 8(4), 345-347.
- Sanabria R.L., Ibáñez I.J. y Valencia, V.N. (2015). Ambiente metacognitivo digital para apoyar el aprendizaje de las matemáticas. *Revista Papeles*, 7(14), 42-54.
- Sanabria R.L., Valencia, V.N. y Ibáñez I.J. (2017). Efecto del entrenamiento en autorregulación para el aprendizaje de la matemática. *Praxis & Saber*, 8(16). 35 - 56.
- Sanabria, R.L.B. y Ibáñez, I. J. (2015). La comprensión de conceptos a partir de la elaboración de representaciones en un ambiente computacional. *Tecné, Episteme y Didaxis TED*, 37, 13-30. <https://revistas.pedagogica.edu.co/index.php/TED/article/view/3249/2813>
- Sanabria, R.L.B. y Macías, M.D. (2006). *Formación de competencias docentes: diseñar y aprender con ambientes computacionales*. Fondo Editorial UPN y Colciencias.
- Sanabria, R.L.B. (1997). *Ambiente computarizado para identificar procesos reflexivos en estudiantes neófitos que solucionan problemas gráficos de diseño mecánico*. (Tesis de Maestría), Universidad Pedagógica Nacional.
- Sanabria, R.L.B. (2014). Análisis de protocolos: una alternativa para investigar en ambientes de aprendizaje digital. En A. Camargo U. *Cátedra doctoral: Educación y Tecnologías de la Información y la Comunicación* (119-134). UPN.
- Sanabria, R.L.B. (2015). *Imagen mental y representación espacial: externalización de estrategias manejadas por invidentes que son apoyados por medios compensatorios*. Universidad Pedagógica Nacional.
- Sanabria, R.L.B., Valencia, V.N.G. y Ibáñez, I.J. (2017). Efecto del entrenamiento en autorregulación para el aprendizaje de la matemática. *Praxis & Saber*, 8(16), 35-56.
- Savery, J.R. y Duffy, T.M. (1995). Problem Based Learning: An instructional model and its constructivist framework. *Educational Technology*, , 35, 31-38. DOI: 10.1.1.581.9528
- Schalk, G., McFarland, D.J., Hinterberger, T., Birbaumer, N. y Wolpaw, J.R. (2004). BCI2000: A General-Purpose Brain-Computer Interface (BCI) System. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 51(6), 1034-1042.

- Schank, R.C. (1982). *Dynamic Memory: A Theory of Learning in Computers and People*, Cambridge Univ. Press, Cambridge, UK.
- Schnotz, W. (1993). Some remarks on the relation of dual coding and mental models in graphics comprehension. *Learning and Instruction*, 3(3), 247-249. doi:10.1016/0959-4752(93)90008-n
- Schnotz, W., Picard, E., y Hron, A. (1993). How Do Successful and Unsuccessful Learners Use Texts And Graphics? *Learning and Instruction*, 3, 181-199.
- Schunk, D.H. (2004). *Learning theories: An educational perspective* Merrill/Prentice Hall.
- Seely Brown, J. (2000). Growing Up Digital: How the Web Changes Work, Education, and the Ways People Learn. *Change: The Magazine of Higher Learning*, 32(2), 11-20. doi: 10.1080/00091380009601719.
- Seimens, G. (2007) Connectivism: Creating a Learning Ecology in Distributed Environments in T. Hug (Ed) *Didactics of Microlearning: Concepts, Discourses and Examples* Munster; Waxman, pp. 53-68.
- Shams, L. y Seitz, A.R. (2008). Benefits of multisensory learning. *Trends in Cognitive Science*, 12 (11), 411- 417.
- Shapiro, A.M. y Niederhauser, D. (2004). Learning from hypertext: research issues and findings. En D. H. Jonassen (Ed.), *Handbook of research on educational communications and technology* (pp. 605-620). Lawrence Erlbaum Associates Publishers.
- Shapiro, A.M. (2008). Hypermedia design as learner scaffolding. *Education Technology Research Development*, 56, 29-44. doi 10.1007/s11423-007-9063-4
- Shin, N., Jonassen, D.H. y McGee, S. (2003). Predictors of Well-Structured and Ill-Structured Problem Solving in an Astronomy Simulation. *Journal of Research in Science Teaching*, 40 (1), 6-33. doi: 10.1002/tea.10058
- Shute, V. y Psotka, J. (1996). Intelligent tutoring system: Past, present, and future. En D. Jonassen, ed., *Handbook of Research for Educational Communications and Technology*, pp. 570-600. Macmillan.
- Siemens, G. (2007) Connectivism: Creating a Learning Ecology in Distributed Environments. En T. Hug (Ed.) *Didactics of Microlearning: Concepts, Discourses and Examples* (pp.53-68). Münster, GE: Waxmann.
- Siemens, G. (2013). Learning analytics: the emergence of a discipline. *American Behavioral Scientist*.doi:10. 1177/0002764213498851.
- Siemens, G. (2016). Learning Ecology, Communities, and Networks - Extending the classroom, elearnspace. http://www.elearnspace.org/Articles/learning_communities.htm.
- Silva, T.R., Hak, J.-L., Winckler, M. (2017). A behavior-based ontology for supporting automated assessment of interactive systems. In: *Proceedings of the 11th IEEE International Conference on Semantic Computing (ICSC 2017)*, pp. 250-257. <https://doi.org/10.1109/ICSC.2017.73>

- Simon, H. (1980). Cognitive Science: The Newest Science of the Artificial. *Cognitive Science*, 4, 33 - 46.
- Simon, H.A. (1979). Rational Decision Making in Business Organizations. *The American Economic Review*, 69(4), 493-513.
- Smith, E. R., y Semin, G. R. (2007). Situated Social Cognition. *Current Directions in Psychological Science*, 16(3), 132-135. DOI:10.1111/j.1467-8721.2007.00490.x.
- Sosa, G.W., Berger, D.E., Saw, A.T., y Mary, J.C. (2011). Effectiveness of computer assisted instruction in statistics: A meta-analysis. *Review of Educational Research*, 81(1), 97-128.
- Soucies, N., Girouard, J. y Ouarti, N. (2014). Smart moving nightstand-for medical assistance of elderly people an open project. in HEALTHINF, pp. 517-522.
- Sternberg, R.J. (1998). In Search of the Human Mind, 2nd ed. Orlando, FL: Harcourt Brace & Co.
- Sugrue, B. (2000). Cognitive approaches to web-based instruction. En S. P. Lajoie, *Computers as cognitive tools, volume two: No more walls* (pp. 133 - 162). Lawrence Erlbaum Associates.
- Sun, R. (2009). Theoretical status of computational cognitive modeling. *Cognitive Systems Research*, 10(2), 124-140.
- Sun, R. (2016). *Anatomy of the Mind: Exploring Psychological Mechanisms and Processes with the Clarion Cognitive Architecture*. Oxford University Press.
- Sun, R. (2018). Cognitive social simulation for policy making. *Policy Insights from the Behavioral and Brain Sciences*, 5(2), 240-246. <https://doi.org/10.1177/2372732218785925>.
- Sun, R., Merrill, E., y Peterson, T. (2001). From implicit skills to explicit knowledge: A bottom-up model of skill learning. *Cognitive Science*, 25(2), 203-244.
- Sun, R., Zhang, X., y Mathews, R. (2009). Capturing human data in a letter counting task: Accessibility and action-centeredness in representing cognitive skills. *Neural Networks*, 22(1), 15-29.
- Sur, M. and Rubenstein, J.L.R. (2005). Patterning and plasticity of the cerebral cortex. *Science* 310, 805-810.
- Tai, R.H. , Loehr, J.F. y Brigham, F.J. (2006). An exploration of the use of eye-gaze tracking to study problem-solving on standardized science assessments. *International Journal of Research & Method in Education*, 29(2), 185-208. DOI: 10.1080/17437270600891614.
- Teece, D.J., Pisano, G. y Shuen, A. (1997). Dynamic capabilities and strategic management. *Strategic Management Journal*, 18(7), 509-533.
- Temucin, H., Seydi, K.A., Kaya, A., Yalin, Y.H. y Tekinerdogan, B. (2018). A cloud-based big data system to support visually impaired people. En A. K. Zhiyong, S. Zhang y M. Sheng (Eds.) *Computational Intelligence for Multimedia Big Data on the Cloud with Engineering Applications* (pp. 1-22). London, UK: Academic Press. DOI: 10.1016/B978-0-12-813314-9.00001-3

- Thillmann, H., Künsting, J., Wirth, J., y Leutner, D. (2009). Is it Merely a Question of “What” to Prompt or Also “When” to Prompt? *Zeitschrift Für Pädagogische Psychologie*, 23(2), 105-115. doi:10.1024/1010-0652.23.2.105
- Thite, L. (2014). *Eye tracking: a basic review*. [https://www.academia.edu Eye_Tracking_Technology](https://www.academia.edu/Eye_Tracking_Technology).
- Thomas, S.S., Nathan, V., Zong, C., Akinbola, E., Aroul, A.L.P., Philipose, L., Soundarapandian, K., Shi, X. y Jafari, R. (2014). BioWatch - A Wrist Watch based Signal Acquisition System for Physiological Signals including Blood Pressure. 36th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (2286-2289). Chicago, IL. doi:10.1109/embc.2014.6944076
- Trætteberg, H. (2002). Model-based User Interface Design. (Tesis de Doctorado) Norwegian University of Science and Technology.
- Turban, E., Outland, J., King, D., Jae-Kyu, L. Ting-Peng, L. y Turban, D.C. (2018). *Electronic Commerce 2018: A Managerial and Social Networks Perspective*, pp.260-261. Cham, SW: Springer International Publishing.
- Turban, E., Sharda, R., y Delen, D. (2011). *Decision support and business intelligence systems*. Prentice Hall.
- Utgaard, N.S. (2014). Investigating the effect of a robotic presence compared to a virtual robot in teaching angles and turn measurements to children. Norwegian University of Science and Technology.
- Valencia, V.N.G., López, V.O. y Sanabria, R.L.B. (2018). Effect of Motivational Scaffolding on E-Learning Environments: Self-Efficacy, Learning Achievement, and Cognitive Style. *Journal of Educators* 15,1: 1-14. https://www.thejeo.com/archive/archive/2018_151/vallejo_vargas_rodriguezpdf.
- van Eijck M y Roth, W.M. (2007) Improving science education for sustainable development. *PLOS Biology* 5(12), 2763-2769. doi:10.1371/journal.pbio.0050306.
- Van Gog, T., y Jarodzka, H. (2013). Eye Tracking as a Tool to Study and Enhance Cognitive and Metacognitive Processes in Computer-Based Learning Environments. *Springer International Handbooks of Education*, 143-156. doi:10.1007/978-1-4419-5546-3_10.
- Vans, A. M., Von Mayrhauser, A. y Somlo, G. (1999). Program understanding behaviour during corrective maintenance of large-scale software. *International Journal of Human-Computer Studies*, 51, 31-70. doi:10.1006/ijhc.1999.0268.
- Veletsianos, G. y Russell, G.S. (2013). Pedagogical Agents. En J.M. Spector et al. (eds.), *Handbook of Research on Educational Communications and Technology* (p.), New York , NY: Springer. DOI 10.1007/978-1-4614-3185-5_61
- Verma, P. y Sood, S.K. (2018). Internet of Things-based student performance evaluation framework. *Behaviour & Information Technology*, 37(2), 102-119.

- Visser, W. (2006). *The Cognitive Artifacts of Designing*. Lawrence Erlbaum associates. Mahwah, NJ.
- Voss, J.F., Lawrence, J.A. y Engle, R.A. (1991). From representation to decision: An analysis of problem solving in international relations. En Sternberg, R.J. & Frensh, P.A. (Eds.), *Complex problem solving* (pp. 119-157) Hilldale, NJ: Erlbaum.
- Vygotsky, L.S. (1978). *Mind in Society: The Development of Higher Psychological Processes* (pp. 84-86). Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Wang, Y. y Chiew, V. (2010). On the cognitive process of human problem solving. *Cognitive Systems Research*, 11, 81-92. doi:10.1016/j.cogsys.2008.08.003
- Wang, Y. y Gafurov, D. (2003). The Cognitive Process of Comprehension. Proceedings of the Second IEEE International Conference on Cognitive Informatics (ICCI'03).
- Wang, Y. y Ruhe, G. (2007). The Cognitive Process of Decision Making. *International Journal of Cognitive Informatics and Natural Intelligence*, 1(2), 73-85.
- Wang, Y. y Wang, Y. (2002), Cognitive Models of the Brain, Proceedings of the 1st IEEE International Conference on Cognitive Informatics (ICCI'02), Calgary, Canada, August, pp. 259-269.
- Wang, Y. (2003). On cognitive mechanism of the eyes: the sensor vs. the browser of the brain. *Proceedings of the Second IEEE International Conference on Cognitive Informatics (ICCI'03)*. doi:10.1109/coginf.2003.1225984
- Wang, Y. (2007). The OAR model of neural informatics for internal knowledge representation in the brain. *International Journal of Cognitive Informatics and Natural Intelligence*, 1(3), 64-75. doi:10.4018/jcini.2007070105.
- Wang, Y. (2007). The Theoretical Framework and Cognitive Process of Learning. 6th IEEE International Conference on Cognitive Informatics. doi:10.1109/coginf.2007.4341926
- Wang, Y. (2008). A cognitive informatics theory for visual information processing. Proc. 7th IEEE International Conference on Cognitive Informatics ICCI'08 (pp. 317-323). Stanford University.
- Wang, Y. (2009). Formal Description of the Cognitive Process of Memorization. In M.L. Gavrilova et al. (Eds.): *Trans. on Computational Science*. V, LNCS 5540, pp. 81-98. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Wang, Y. (2010). On concept algebra for computing with words (CWW). *International Journal of Semantic Computing*, 4(3), 331-356. doi:10.1142/S1793351X10001061.
- Wang, Y. (2013). Neuroinformatics Models of Human Memory: Mapping the cognitive functions of Memory onto Neurophysiological Structures of the Brain. *International Journal of Cognitive Informatics and Natural Intelligence*, 7(1), 98-122.

- Wang, Y. (2013a). Formal Models and Cognitive Mechanisms of the Human Sensory System. *International Journal of Software Science and Computational Intelligence*, 5(3), 49-69. DOI: 10.4018/ijssci.2013070104
- Wang, Y. (2013b). Neuroinformatics Models of Human Memory: Mapping the Cognitive Functions of Memory onto Neurophysiological Structures of the Brain. *International Journal of Cognitive Informatics and Natural Intelligence*, 7(1), 98-122. DOI:10.4018/jcini.2013010105
- Wang, Y. (2016). Brain-Inspired Deep Learning and Cognitive Learning Systems. 8th International Conference on Brain Inspired Cognitive Systems (BICS'16), Beijing.
- Wang, Y., Wang, Y., Patel, S. y Patel, D. (2006). A layered reference model of the brain (LRMB). *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics (Part C)*, 36(2), 1-13.
- Wang, Y., Leung, H., Gavrilova, M., Zatarain, O., Graves, D., Lu, J., Howard, N., Kwong, S., Sheu, P. y Patel, S. (2018). A survey and formal analyses on sequence learning methodologies and deep neural networks. *Proceedings 17th IEEE International Conference on Cognitive Informatics & Cognitive Computing ICCI*CC 2018* (pp.6-15). Berkeley, CA, USA.
- Wang, Y., Patel, S. y Patel, D. (2013). The cognitive process and formal models of human attentions. *International Journal of Software Science and Computational Intelligence*, 5(1), 32-50. DOI: 10.4018/ijssci.2013010103
- Wang, Y., Wang, Y. (2006). Cognitive Informatics Models of the Brain. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part C: Applications and Reviews*, 36(2), 203-207.
- Wang, Y., Wang, Y., Patel, S. y Patel, D. (2006). A Layered Reference Model of the Brain (LRMB). *IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics (Part C)*, 36, 2, 1-12.
- Weiser, M. (1993). Some computer science issues in ubiquitous computing. *Communications of the ACM*, 36(7), 75-84. DOI:10.1145/159544.159617.
- Wickelgren, W.A. (1974). *How to Solve Mathematical Problems*. San Francisco, CA: W.H. Freeman.
- Williams, D. C., Ma, Y., Prejean, L., Ford, M. J., and Lai, G. (2007). Acquisition of physics content knowledge and scientific inquiry skills in a robotics summer camp. *Journal of Research on Technology in Education*, 40(2).
- Wilson, R.A. y Keil, F.C. (2001). *The MIT encyclopedia of the cognitive sciences* (pp. 460-461). The MIT Press.
- Winne, P. H., y Hadwin, A. F. (1998). Studying as self-regulated learning. En D. J. Hacker, J. Dunlosky, y A. C. Graesser (Eds.), *The educational psychology series. Metacognition in educational theory and practice* (pp. 277-304). Mahwah, NJ, US: Lawrence Erlbaum Associates Publishers.

- Winters, F.I., Greene, J.A. y Costich, C.M. (2008). Self-Regulation of Learning within Computer-based Learning Environments: A Critical Analysis. *Educational Psychology Review*, 20:429-444. DOI 10.1007/s10648-008-9080-9
- Witkin, H.A., Moore, C.A., Goodenough, D.R. y Cox, P.W. (1977). Field-Dependent and Field-Independent Cognitive Styles and Their Educational Implications. *Review of Educational Research*, 47(1), 1-64.
- Wood, D.; Bruner, J.S. & Ross, G. (1976). The role of tutoring in problem solving. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 17, pp. 89-100.
- Yang, J. H. (2006). Context aware ubiquitous learning environments for peer-to-peer collaborative learning. *Educational Technology & Society*, 9(1), 188-201.
- Yin, C., Uosaki, N., Chu, H-C., Hwang, G-J, Liu, G-Z., Hwang, J-J., Hatono, I., Kumamoto, E. y Tabata, Y. (2017). Learning Behavioral Pattern Analysis based on Students' Logs in Reading Digital Books. Proceedings of the 25th International Conference on Computers in Education (pp. 549-557). New Zealand: Asia-Pacific Society for Computers in Education.
- Yu, H., Farley, B.J., Jin, D.Z. y Sur, M. (2005), The Coordinated Mapping of Visual Space and Response Features in Visual Cortex. *Neuron*, 47, p. 267-280. DOI: 10.1016/j.neuron.2005.06.011
- Yu, L. (2007). *Introduction to Semantic Web and Semantic Web Service* (pp.1-36). Boca Raton, FL: Chapman & Hall/Crc.
- Zhang, Q., Cheng, L. y Boutaba, R. (2010). Cloud computing: state-of-the-art and research challenges. *Journal Internet Services Applications*, 1(1), 7-18.
- Zhou, J., Leppänen, T., Harjula, E., Ylianttila, M., Ojala, T., Yu, C., Jin, H. y Yang, L.T. (2013). Cloud Things: a common architecture for integrating the internet of things with Cloud Computing. En: Proceedings of the 2013 IEEE 17th international conference on computer supported cooperative work in design, pp. 651-657, Canada, 27-29.
- Zimmerman, B. J. (2000) Self-regulatory cycles of learning. In G. A. Straka (ed.) *Conceptions of self - directed learning, theoretical and conceptual considerations* (pp.221-234). Waxmann.
- Zimmerman, B. J. (2002). Becoming a self-regulated learner: An overview. *Theory into Practice*, 41(2), 64-70. DOI:10.1207/s15430421tip4102_2.
- Zimmerman, B.J. (2008). Investigating Self-Regulation and Motivation: Historical Background, Methodological Developments, and Future Prospects. *American Educational Research Journal*, 45(1):166-183. DOI: 10.3102/0002831207312909
- Zimmerman, B.J. (2008). Investigating Self-Regulation and Motivation: Historical Background, Methodological Developments, and Future Prospects. *American Educational Research Journal*, 45(1), 166-183. DOI: 10.3102/0002831207312909

Índice de autores

A

Adams Becker, S., 148
Affectiva, 153
Akçapinar, G., 154
Akhras, F. N., 20, 42-43, 45, 150
Akinbola, E., 153
Alais, D., 69
Albuquerque, A. R. P. L., 117, 172
Aleven, V., 21, 83-85
Ammi, M., 148
Amroun, H., 148
Anastassova, M., 148
Anderson, J. R., 19, 31-32, 38, 40-41, 45-46, 92-93, 98
Angehrn, A., 119
Ansoorge, J., 175
Aroul, A. L. P., 153
Arpaci, I., 159-160
Arunachalam, V., 96
Atkinson, R. K., 123
Azevedo, R., 21, 83-85, 88-89, 106, 111, 123, 149, 152
Azuma, R.T., 173

B

Baddeley, A., 135
Baker, D., 73,
Baker, R., 84, 111, 146
Bandura, A., 20, 29, 48
Banks, M.S., 69

Bannert, M., 136
Barab, S. A., 51
Baron-Cohen, S., 13
Barron, B., 30, 51, 163, 168
Barrows, H. S., 39, 75
Baylor, A. L., 123
Beissner, K., 76
Beltran, M., 176
Bente, G., 123
Berger, D. E., 109
Bernacki, M. L., 21
Berry, E., 153
Berthold, K., 47
Biggs, J. B., 19
Birbaumer, N., 84
Bittencourt, I., 111, 117, 172
Bobin, M., 148
Bohanec, M., 71-72
Bontis, N., 78
Bouchet, F., 88
Boukalle, M., 148
Boutaba, R., 158
Bower, G. H., 92-93
Bransford, J. D., 38, 49
Bridges, D., 73
Brigham, F. J., 86
Briner, M., 41
Briod, M., 176

Bronfenbrenner, U., 163
Brown, B., 147
Brown, J. S., 29, 41, 47, 150,
Bruner, J. S., 41, 121-122
Brusilovsky, P., 38, 111
Bughin, J., 147
Buitrago, N. C., 47, 123
Burkett, C., 123
Burleson, W., 21
Burr, D., 69
Burton, J. K., 109
Butler, A., 153
Byers, A. H., 147

C

Calvet Liñán, L., 147
Capeli, O. M., 117, 172
Caroni, P., 63
Carraro Lab, 172
Carr-Chellman, A., 165
Carroll, J. M., 128
Chang, Y. S., 52, 173
Chao, H. C., 159
Chaplot, D. S., 46
Chater, N., 69
Chauncey, A. D., 123
Chen, C. H., 47, 79
Chen, L., 49
Chen, W., 119
Cheng, L., 158
Cheng, Z., 151
Chernikova, O., 14
Chi, M. T. H., 31, 90-92, 97-98
Chieu, V. M., 38

Chiu, C. K., 156
Chong, D., 171
Chu, H. C., 154
Chui, M., 147
Ciambotti, M., 78
Clemen, R. T., 72
Cohn, M., 128-131
Collins, A., 29, 41, 47, 150
Costa-Hong, V. A., 89
Costich, C. M., 111
Cox, P. W., 152
CTGV, 49

D

Davis, K. A., 79
Delany, P., 38
Demetriadis, S., 33
Denle, D., 160
Denys, D., 84
Derry, S., 42, 45
Dillenbourg, P., 38, 106, 176
Dobbs, R., 147
Domagk, S., 123
Donato, F., 63
Dreyfus, H., 32
Dreyfus, S. E., 32
Duffy, T. M., 75, 88, 110
Duguid, P., 29, 41, 47, 150
Duncan, S. C., 164
Dunsworth, Q., 123

E

Economides, A., 21, 146
Edin, B. B., 84
Ekman, P., 89

Engerman, J. A., 164-165
Engestrom, Y., 29, 50-51
Engle, R. A., 76
Ericsson, K. A., 21, 83, 86
Ernst, M. O., 69
Estrada, V., 148
Evans, D., 148

F

Farley, B. J., 63
Fensel, D., 117
Fernbach, P. M., 38
Feyzi-Behnagh, R., 88
Fike, A., 123
Fonseca, O., 23, 78, 106, 137
Ford, M. J., 175
Foresti, G. L., 173
Foroughi, A., 171
Fox, A., 151
Fransen, M. L., 89
Freeman, A., 148
Freire, P., 41
French, S., 72
Friesen, W. V., 89

G

Gafurov, D., 140
Gallese, V., 29-30, 47-48
García, R., 38
Gavrilova, M., 143
Ge, X., 47, 78-79
Gee, J. P., 110, 164, 166
Gentner, D., 66
Gerstein, J., 168, 171

Ghilic-Micu, B., 158
Giampaoli, D., 78
Girouard, J., 148
Goel, V., 77-78
Goodenough, D. R., 152
Graesser, A., 123
Grance, T., 158
Grant, E. R., 86
Graves, D., 143
Green, M., 172
Greene, J. A., 111
Greeno, J. G., 19, 29, 38, 41, 47

H

Haataja, E., 85
Hadwin, A. F., 111, 156
Hak, J. L., 132
Hannafin, K. M., 29, 37-38, 44,
109
Harjula, E., 158
Harley, J., 88
Harpreet, E., 159
Harr, N., 136
Hasnine, M. N., 154, 156
Hasselbring, T. S., 38, 49
Hatono, I., 154
Hayes, E., 74, 86, 164
He, A., 99, 101, 151
Hernández, S. J., 30
Heyes, C., 12
Hihara, K., 118
Hilppó, J., 177
Hinterberger, T., 84
Hmelo-Silver, C. E., 38-39

Hodges, S., 153
Holappa, J., 85
Hollan, J., 29, 39, 50
Holland, J. H., 65
Höllerer, T., 173
Holyoak, K. J., 65-67
Hooper, S. R., 109
Hou, B., 156
Howard, N., 143
Howland, J., 30
Hron, A., 135
Huang, T., 151
Huang, X., 85
Huertas, B. A., 23
Hughes, J., 96-97
Hung, W., 75
Hunter, R., 73
Hutchins, E. L., 29-30, 35, 39, 50
Huynh, B., 173
Hwang, J. J., 154
Hwang, G. J., 30, 38, 48, 150-152,
154-155, 158

I

Ibáñez, J., 23, 25, 35, 39, 78, 106,
122, 137
Ibrahim, A., 173
Ifenthaler, D., 136
Inventado, P. S., 84
Isotani, N., 117, 172
Isotani, S., 111, 117, 172
Iwasaki, H., 87, 93
Izadi, S., 153

J

Jackson, N. J., 30, 164, 166, 168-
169, 171
Jacobs, R. A., 69
Jae-Kyu, L., 160
Jafari, R., 153
Jaques, P., 111, 117, 172
Jarocka, E., 84
Jarodzka, H., 21
Järvelä, S., 85
Jermann, P., 106
Jetter, A. J., 99
Jin, D. Z., 63
Jin, H., 158
Jo, J. H., 30, 38, 48-49, 150
Johal, W., 176
Johnson, A. M., 112, 123
Johnson, G. M., 73, 109, 164
Johnson, L., 148
Johnson-Laird, P. N., 135
Jonassen, D. H., 30, 37, 46, 75-78,
81, 106, 110
Jones, V., 30, 38, 48-49, 150
Juan Pérez, Á. A., 147
Jyoti, 159

K

Kanagarajan, S., 151, 158
Kansen, M., 151
Kapur, N., 153
Karim, M. E., 174-175
Kärkkäinen, T., 173
Kauffman, D.F., 47
Kay, J., 112
Kaya, A., 148

Keil, F. C., 143
 Kellman, P. J., 59
 Keyzers, C., 29-30, 47-48
 Kim, M. C., 111
 Kim, Y., 123
 Kindberg, T., 151
 King, A., 136
 King, D., 160
 Kini, A. S., 109
 Kinzer, C. K., 38, 49
 Kirsh, D., 29, 32, 39, 50
 Kishino, F., 173
 Klausen, T., 29
 Klink, P. C., 84
 Koedinger, K., 46
 Kok, K., 99
 Kolodner, J. L., 30, 39
 Körding, K. P., 69
 Kosko, B., 99
 Kozaki, K., 118, 132-134
 Kramarski, B., 111
 Kramer, N. C., 123
 Krokfors, L., 177
 Krupa, J., 73
 Kumamoto, E., 154
 Kumazawa, T., 118
 Kumpulainen, K., 177
 Künsting, J., 136
 Kwong, S., 143

L

Lagerstam, E., 173
 Lai, G., 175

Lajoie, S. P., 20, 42, 45
 LAK'11, 147
 Land, S. L., 30, 37-38, 44, 46, 78
 Landis, R., 88
 Landow, G. P., 38
 Langley, P., 83-84
 Lave, J., 29-30, 38, 41, 47-48, 150
 Lawrence, J. A., 76
 Leber, J., 136
 Lemaignan, S., 174, 176
 Leppänen, T., 158
 Leung, H., 143
 Leutner, D., 136
 Lewinski, P., 89
 Li, M., 156
 Li, W., 156
 Linnenbrink, E. A., 168
 Lipponen, L., 177
 Liu, G.Z., 154
 Liu, R., 75
 Loehr, J. F., 86
 Loidl-Reisinger, S., 38, 45
 López, V.O., 23, 45, 47, 123
 Lopez-Bendito, G., 63
 Lu, J., 143
 Luce, R. D., 82
 Luciw, M. D., 84
 Luckin, R., 150, 165

M

Ma, Y., 175
 Macedo, T. A., 89
 Machado, M. F., 89

- Macias, M. D., 78
- MacLellan, C., 46
- Maedche, A., 119
- Magliaro, S. G., 109
- Majewska, A. K., 79
- Maldonado, G. L. F., 13, 15, 17, 20, 23, 25, 39, 45, 78, 82, 91, 106, 114-115, 118, 124, 126, 129-131, 135, 137, 142
- Malmberg, J., 85
- Manyika, J., 147
- Markus, M. L., 135
- Marra, R., 30
- Martin, V., 136
- Martínez, B. J., 45, 47
- Mary, J. C., 109
- Massaro, A. R., 90
- Massey, C. M., 59
- Matessa, M., 98
- Mathews, R., 31
- Mayer, R. E., 135, 137-139
- McFarland, D. J., 84
- McGee, S., 77-78
- McNamara, D., 123
- Mell, P., 158
- Memoria, C. M., 12, 22, 25, 55-56, 60-66, 74, 76, 79-82, 89, 92, 110, 135, 137, 139-141, 143, 154
- Menke, D., 136
- Mercier, H., 65
- Meriläinen, M., 176-177
- Merrill, E., 33, 98
- Michalsky, T., 111
- Milgram, P., 173
- Millan, E., 111
- Mircea, M., 158
- Mitchell, H. J., 160
- Mizoguchi, F., 87, 93
- Mizoguchi, R., 117-119, 132, 172
- Molnar, Z., 63
- Mondada, F., 174, 176
- Moore, C. A., 152
- Moore, D. M., 109
- Moore, J., 30, 38
- Moos, D. C., 123
- Moraes, N. C., 89
- Moreno, J. O., 23
- Moreno, R., 135, 137
- Mouri, K., 152-156, 158
- Muela, H. C. S., 89
- Muller, D., 63
- Murphy, J., 73
- Murphy, P., 35-36, 40, 121

N

- Nagata, A., 31
- Narens, N., 141, 156
- Nathan, V., 153
- Nelson, T. O., 141, 156
- Newell, A., 38, 74, 76, 85
- Niederhauser, D., 106, 111
- Nilsson, M., 97
- Nisbett, R. E., 65-67, 86
- Nishiyama, H., 87, 93
- Nitrini, R., 90
- Nivre, J., 97
- Nokes-Malach, T. J., 21
- Nonaka, I., 31, 160

North, D., 129-131

Norton, S. J., 175

Nückles, M., 47

O

Oaksford, M., 69

O'Donovan, J., 173

Ogata, H., 30, 38

Ogata, K., 48-49, 152-156, 158

Ohler, J., 172

Ohlsson, S., 31, 83-84

Ohwada, H., 93

Ojala, T., 158

Olsson, T., 173

Ortega, N., 20, 23, 39, 78, 82, 106,
114-115, 137

Osborne, M. J., 70

Ouarti, N., 148

Outland, J., 160

Özgür, A., 176

P

Paiva, R., 111

Papamitsiou, Z., 21, 146

Papert, S., 38, 175

Paramythis, A., 38, 45

Parkes, S., 96-97

Patel, D., 55, 57-58, 137, 143

Patel, S., 55, 57-58, 137, 143

Payne, D. G., 61

Peng, C., 49, 160

Pereyre, L., 176

Perkins, D. N., 110

Peterson, T., 33, 98

Philipose, L., 153

Piaget, J., 19, 37, 46, 110

Picard, E., 135

Piispanen, M., 176-177

Pintrich, P. R., 168

Pirolli, P., 77-78

Pisano, G., 78

Plakitsi, K., 29, 50-51

Plowman, L., 163

Plunkett, K., 64

Poggioli, L., 109

Polya, G., 76

Prejean, L., 175

Pressley, M., 136

Psotka, J., 45

Puntambekar, S., 39, 107

Q

Quintero, S. V., 23, 39

R

Rabb, N., 38

Radosavljevich, P. R., 37

Rajala, A., 177

Ramakrishnan, S., 151, 158

Razmerita, L., 119

Reder, L. M., 19, 38, 40-41

Remagnino, P., 173

Renkl, A., 47, 136

Rieber, L. P., 109

Rizzolatti, G., 29-30, 47-48

Robertson, W. C., 77

Rocha, S. T., 128-129, 132

Rodrigues, P., 87

Roelfsema, P. R., 84

Romero, C., 21, 143, 147
Rosa, P. J., 87
Ross, G., 41, 122
Rosson, M. B., 128
Roth, W. M., 29-30, 50-51
Roxburgh, C., 147
Rubenstein, J. L. R., 63
Rubinstein, A., 70
Rubio, M., 23, 78, 106, 137
Ruhe, G., 142
Russell, G. S., 123

S

Saini, L., 159
Saito, O., 118
Salakhutdinov, R., 46
Sanabria, R. L. B., 5-6, 11, 15, 20,
22-23, 25, 35, 39, 45, 47, 51,
58, 78, 82, 84, 91, 97, 106,
114-115, 119, 122-123, 125,
137-139, 142
Sarmiento, V. L. C., 23
Sasso, W., 96
Savery, J. R., 75
Saw, A. T., 109
Schalk, G., 84
Schank, R. C., 30, 66
Schneider, D., 106
Schnotz, W., 135
Schunk, D. H., 110
Schwonke, R., 136
Seely Brown, J., 164
Seimens, G., 30
Seitz, A. R., 58-59
Self, J. A., 20, 42-43
Semin, G. R., 29, 48
Seydi, K. A., 148
Shams, L., 58-59
Shapiro, A. M., 106
Sharda, R., 160
Sherwood, R. D., 38, 49
Sheu, P., 143
Shi, H., 171
Shi, X., 153
Shin, N., 77-78
Shu, E. B. S., 89
Shuen, A., 78
Shute, V., 45
Siemens, G., 38, 84, 106, 111, 147,
166, 170
Siipo, A., 85
Simon, H. A., 19, 21, 35, 38, 40-41,
74-76, 83, 85-86, 91
Skuballa, I. T., 136
Sloman, S. A., 38
Smith, E. R., 29, 38, 48
Smyth, G., 153
Somlo, G., 96
Sood, S. K., 149
Sorenson, K., 73
Sosa, G. W., 109
Soucies, N., 148
Soundarapandian, K., 153
Sperber, D., 65
Spivey, M. J., 86
Srinivasan, J., 153
Sternberg, R. J., 62
Stewart, N., 69

Stoica, M., 158
Stylianou, A., 107
Sugrue, B., 43
Sun, R., 25, 31–33, 81–82, 98, 101–
103, 110, 141
Sun, S., 151
Sur, M., 63, 79
Synteta, P., 106

T

Taatgen, N., 112
Tabata, Y., 154
Tai, R. H., 86
Tan, E. S. H., 11, 89, 95
Teece, D. J., 78
Tekinerdogan, B., 148
Temucin, H., 148
Tenório, T., 111
Thagard, P., 65
Thillmann, H., 136
Thite, L., 87
Thomas, S. S., 153
Ting-Peng, L., 160
Tissari, V., 177
Toyama, R., 31
~~Trattberg, H.~~
Trevors, G., 88
Tsai, C. C., 30, 38, 48
Tseng, C. R., 156
Turban, D. C., 160
Turban, E., 160

U

Uosaki, N., 154, 156
Utgaard, N. S., 175

V

Väänänen-Vainio-Mattila, K., 173
Valencia, V. N. G., 23, 25, 35, 39,
82, 106, 122
van Eijck, M., 30, 51
Van Gog, T., 21
Vans, A. M., 96
Veletsianos, G., 123
Ventura, S., 21, 143, 147
Verma, P., 149
Visser, W., 105
Von Mayrhauser, A., 96
Voss, J. F., 76
Vygotsky, L. S., 40–41, 110, 121–
122

W

Wang, Y., 55–58, 60–62, 64–65,
67–68, 76–77, 79, 110, 137–
140, 142–143, 150
Wei, Q., 123
Weiser, M., 30, 38, 48
Wenger, E., 29–30, 38, 41, 47–48,
150
Wenger, M. J., 61
Wickelgren, W.A., 76
Williams, D. C., 175
Williams, L., 153
Williams, S. M., 38, 49
Wilson, R. A., 86, 143, 153
Wilson, T., 86, 143, 153
Winckler, M., 132
Winne, P. H., 156
Winters, F. I., 111
Wirth, J., 136
Witherspoon, A., 123

Witkin, H. A., 152, 155
Woloshyn, V. E., 136
Wolpaw, J. R., 84
Wolpert, D. M., 69
Wood, D., 41, 136, 153
Wood, E., 41, 136, 153
Wood, K., 41, 136, 153

X

Xie, K., 47

Y

Yacci, M., 76
Yalin, Y. H., 148
Yan, G., 171
Yang, J. H., 30, 38, 48
Yang, L.T., 158
Yano, Y., 49, 156
Yassuda, M. S., 89

Yin, C., 154
Ylianttila, M., 158
Yu, C., 158
Yu, H., 63
Yu, L., 172

Z

Zatarain, O., 143
Zhang, J., 49
Zhang, Q., 158
Zhang, X., 31
Zhou, J., 158-159
Zimmerman, B. J., 111, 156, 168
Zong, C., 153

Índice temático

A

- Acciones, 19-22, 30-32, 36, 39, 42-43, 46, 49-53, 56, 60, 62-63, 69-71, 74-76, 81, 83-88, 90, 93, 96-98, 101, 103-104, 106-107, 111, 121, 123, 127-129, 132, 137, 142, 145-149, 151-152, 159, 168-169, 173-174, 176
 - cognitivas, 21, 50, 86, 103-104
 - motoras, 62-63, 69, 148-149, 152
 - pedagógicas, 20
 - visuales, 22
- Actitud, 57, 89
- Activación de los recursos, 36
- Activadores de estrategias, 136
- Adaptabilidad, 36, 111, 123, 151
- Adaptación, 35-36, 46, 104, 153, 163
- Agente activo, 40, 110
- Agentes, 19-21, 30-31, 34, 36-45, 48-53, 62-63, 72, 85, 107, 109-110, 112, 117, 121, 123-124, 127-128, 135, 143, 163-164, 170, 172
 - humanos, 30
 - pedagógicos, 34, 36, 39-43, 50-53, 72, 85, 107, 112, 121, 123, 143
 - sociales, 30-31, 37-38, 41, 48, 63, 170
- Ambiente de aprendizaje, 19-21, 25-26, 30, 34-37, 40-46, 48-49, 51-53, 79, 88, 97-98, 104-108, 111, 117, 119, 121, 123, 127-129, 135-137, 139, 143, 146, 149, 151-152, 155, 157-160, 162, 165, 168, 170-171, 173-176, 178
 - inteligente, 45, 152
- Ambiente natural, 150
- Analíticas de aprendizaje, 21, 111, 147, 152, 156
- Anclajes, 49
- Andamiajes, 34, 39, 41, 44, 47, 50, 78, 84, 98, 107, 112, 121, 156, 166
- Anticipación perceptiva, 58
- Aprendiz, 8, 13-14, 19-21, 23, 26, 32-34, 36-37, 39-43, 45-50, 61, 63, 66-67, 75, 78, 81, 84, 88-90, 96-98, 103-107, 109-114, 116, 119, 121-124, 127-130, 132, 135-137, 139-143, 146, 149-154, 156, 160, 164-166, 168-171, 176-177
- Aprendizaje, 3, 5-8, 12-15, 17, 19-23, 25-26, 29-53, 55-69, 72, 75, 77-85, 87-90, 96-100, 102-113, 116-117, 119, 121-123, 127-129, 135-139, 141-143, 145-178, 230
 - auténtico, 42, 152, 154, 160, 176
 - basado en robots, 175
 - centrado en el estudiante, 29, 44
 - colaborativo, 38, 85
 - en la nube, 8, 148, 158
 - perceptual, 59
 - situado, 29, 38, 41-42, 44, 47, 49, 150, 164, 173
 - ubicuo, 8, 25, 30, 38, 48, 148, 150-152, 155, 157-158, 178
- Arquitecturas cognitivas, 25, 33, 36
- Atención, 22, 35, 44, 57-58, 78, 81, 86-87, 110, 140-141, 149

- Atributo, 61-62
- Autoconsciencia, 57
- Autonomía en el aprendizaje, 23
- Autorregulación, 23, 110-111, 116, 123, 125, 168, 178
- B**
- Big data*, 84, 90, 103, 116, 147, 154
- Bottom-Up*, 32-33, 67, 111
- C**
- Cámaras aumentadas, 152
- Canales sensoriales, 31, 145, 149
- Características situacionales, 19
- Carga cognitiva, 59
- Cerebro, 12-14, 21, 26, 33, 35, 46, 55-65, 68, 79-80, 84, 86, 110, 137-138, 141
- Ciencia cognitiva, 7, 11, 15, 22-23, 26, 29, 33-37
- Codificación, 8, 62, 76, 89-90, 92-94, 96-97, 100, 141
- Códigos, 33, 69, 155
- verbales, 33
- Cognición, 22-23, 29, 33, 40, 47-48, 50, 67, 82-83, 97
- distribuida, 29, 50
- social, 29, 47-48
- Cognitivismo, 109-111
- Comportamiento en el aprendizaje, 26
- Comprensión, 7, 17, 22, 25, 44, 49, 56, 64, 67, 76, 78-81, 84, 89, 92, 94-95, 97, 107, 111, 117, 123-124, 127, 135, 140, 147, 174
- Comunidad de práctica, 48
- Conductismo, 109
- Conectivismo, 8, 25, 38, 147-148, 170
- Configuración de conocimiento, 43
- Conocimiento, 7-8, 11, 19, 22-23, 25-26, 29-35, 37-38, 40-48, 50-53, 56-57, 61-62, 64-67, 69, 72-77, 80-81, 84, 86-87, 92, 95, 97-98, 100-103, 105-106, 110-113, 116-117, 119, 121-123, 127, 135, 139-143, 145, 150, 152-156, 159-161, 163-166, 168-173, 176-177
- conceptual, 76, 102
- declarativo, 32, 46, 98, 102
- estructural, 76-77
- experiencial, 30
- explícito, 31-33, 103
- humano, 7, 22-23, 26, 29, 31, 35, 67
- implícito, 29, 32-33, 86, 101, 103
- procedural, 32, 98
- procedural explícito, 32
- procedural implícito, 32
- previo, 47, 110-113, 116, 145
- Constructivismo, 29, 38, 109-110
- Contexto, 11, 19-20, 22-23, 30, 32, 34, 37, 40-43, 46, 48, 51-52, 56, 62, 65, 72, 86, 100, 105, 109-110, 118, 129, 132, 135, 142, 146-147, 150-152, 154-156, 159-160, 163-166, 168-169, 171-178
- auténtico, 154-156, 159-160, 174
- físico, 150
- natural, 46, 159, 163
- virtual, 46
- Control, 12-13, 39, 50, 72, 80, 106, 109, 135-136, 140-142, 159, 164, 168
- Corrientes constructivistas, 29
- Córtex cerebral, 60, 63, 79

D

- Descubrimiento, 59, 67, 89, 110
- Diagnóstico cognitivo, 84-85
- Diferencias individuales, 34, 143
- Dimensión, 103, 163
 - espacial, 163
 - temporal, 163
- Dominio de conocimiento, 43, 45, 97-98, 106, 119, 176

E

- Ecología de aprendizaje en la web, 164
- Ecosistema, 11, 13, 52, 149, 151, 163-164, 166
 - de aprendizaje, 52, 151, 166
 - social, 163
- Educación, 6, 8, 11, 19, 26, 29, 34, 37-38, 58, 84, 97, 121, 123, 145, 147-149, 159, 174-175, 178
- Elementos, 12-13, 19, 22, 25, 36-37, 40, 45, 52, 57, 59, 62, 76-78, 81-82, 85-86, 88, 93, 98, 107, 109, 128-129, 137, 140, 142-143, 145, 147, 150-151, 154, 164, 166, 169, 171
 - abióticos, 52
 - bióticos, 52
- Emoción, 13
- Entornos auténticos de aprendizaje, 39
- Era digital, 25
- Escenarios, 3, 5-6, 12, 17, 19, 22-23, 25-26, 30, 43-44, 47, 52-53, 81-83, 87, 106, 128-129, 132, 143, 146-148, 151, 160, 166, 172, 174-177, 230
 - de aprendizaje, 17, 23, 25-26, 30, 43-44, 52, 83, 106, 143, 146-148, 151, 174-177
 - emergentes, 22, 26

- Espacios de afinidad, 110, 164
- Estilos cognitivos, 45, 152
- Estímulo, 37, 109
- Estrategias, 6, 14, 19-20, 25-26, 34, 39-42, 44-46, 51, 68-70, 83-84, 87-88, 95-96, 103-104, 106-107, 112, 119, 121-123, 136, 142, 146-147, 149, 156, 158-159, 166, 168
 - cognitivas, 121, 136
 - de aprendizaje, 14, 19, 25, 88, 103-104, 112, 146-147, 156
 - instruccionales, 121
 - metacognitivas, 40, 121
 - pedagógicas, 19, 26, 34, 42, 46, 104, 106, 112, 119, 121, 159
- Estructura, 7, 11, 14, 20-23, 26, 31, 33-35, 41, 46, 57, 61-64, 76-77, 82, 92, 97, 99, 105-107, 117, 119, 121, 127, 132, 137, 139, 143, 155
 - cognitiva, 31, 33-35, 41, 46, 63, 76-77, 82
 - ontológica, 82, 105-106, 117, 127
- Estudiante, 7, 19-22, 26, 29, 33, 37-44, 46-49, 51-53, 59, 67, 72, 75, 82-85, 87-88, 90, 104, 106, 109, 112, 117, 122-123, 146, 149, 151, 153-156, 158-161, 163, 166, 169, 171, 174-177

- Eventos perceptuales, 58
- Experiencia sensorial, 58
- Experticia, 57, 59-61, 104
- Expresiones faciales, 85, 89, 153

F

- Factores, 19, 70, 72, 152, 154, 178
 - motivacionales, 19
 - personales, 152, 154
- Fenómenos cognitivos, 22

Fluencia, 59

Formación del conocimiento,
22-23, 31, 53

Fuente, 6, 22, 24, 27, 45, 71, 73,
86, 91, 93, 95, 100, 102, 108,
114-115, 118-120, 125-127,
130-131, 133-134, 138, 147,
157, 162, 167

de conocimiento, 45, 127

de información, 22, 86, 127,
147

H

Habilidades, 19, 25, 30-33, 35-37,
39-40, 45-47, 50, 56-63, 76,
78-81, 98, 103, 110-111, 117,
121-123, 137, 145, 150, 161, 164,
166, 171, 175-177

autorreguladoras, 39, 122-
123

cognitivas, 25, 31, 33, 35-36,
45, 50, 76, 150

Herramientas, 30, 50-51, 128-
129, 132, 156, 158, 170, 177

cognitivas, 30

Historias, 49, 128

I

Imágenes sensoriales, 58

Información, 6, 8, 13-15, 17, 19-23,
26, 32-36, 38, 46-49, 56-65,
68-69, 74, 76, 78-90, 93,
103-104, 107, 110-112, 117,
119, 123-124, 127-129, 132,
135-137, 139-142, 145-156,
158-160, 165-166, 168, 170-
172, 177

fisiológica, 85, 89, 148

sensorial, 58-59, 63-64, 80

Instrucción anclada, 38, 48-49

Inteligencia, 20-22, 36, 39, 43, 53,
55, 57, 60, 80, 85, 107, 112, 121,
137, 143, 146, 151, 155, 158, 169,
173, 178

artificial, 20-22, 36, 39, 43,
85, 107, 112, 121, 143, 146, 151,
155, 158, 178

Interacción, 7, 14, 20-23, 25-26,
30-42, 45-51, 53, 55, 61, 63-
64, 70, 78-80, 82, 86, 91, 94-
95, 98, 102, 105-107, 110, 119,
121-123, 127-132, 134-137,
139-140, 143, 148-155, 158,
161, 164, 166, 169, 174-178

constructivista, 30

de búsqueda, 136

de control, 136

de diálogo, 135

de manipulación, 136

del aprendiz, 23, 119, 121, 127,
129-130, 132, 135, 139, 149,
153, 177

por navegación, 136

social, 35, 40, 169, 178

Interfase, 174

Internet, 6, 8, 25, 50, 111, 148-149,
151, 155, 158-159, 166, 168-
170, 172-174, 178

de las cosas, 8, 148-149, 151,
155, 158-159, 169, 173-174,
178

inteligente, 25

J

Juicios metacognitivos, 142

L

Lenguaje, 12, 37, 40, 61, 64, 85,
117, 121

Lógica de predicados, 92-93,
100-101

Logro, 49, 51, 112-113, 123

académico, 112, 123

de aprendizaje, 113

M

- Mapas, 99-100, 152-153
 - cognitivos difusos, 99-100
 - de tiempo, 152-153
- Mapeo, 32, 86, 165
 - de la situación, 32
- Medio, 40, 57, 74, 91, 132, 136, 141, 147, 172
 - social, 40
- Memoria, 12, 22, 25, 55-56, 60-66, 74, 76, 79-82, 89, 92, 110, 135, 137, 139-141, 143, 154, 210
 - actuante, 61
 - asociativa, 92
 - de corto plazo, 56, 60, 62, 64, 137, 139-140
 - de largo plazo, 55-56, 61-65, 76, 80, 137, 139-141
 - episódica, 61
 - procedural, 61
- Mente humana, 35
- Metacognición, 22, 81, 83, 110, 141, 143, 153, 168
- Metanivel, 141
- Metas de aprendizaje, 19, 111, 154
- Micromundos, 38, 143
- Modelación, 3, 5-8, 17, 20-21, 34, 36, 39, 44, 52-53, 72, 81, 98, 107, 111-112, 117, 121, 127, 136, 230
 - cognitiva, 81
 - de andamiajes, 34, 39
 - de conocimiento, 8, 117
 - de interacciones comunicativas, 8, 127
 - del aprendiz, 8, 34, 111
 - pedagógica, 8, 121

- Modelamiento, 7, 14-15, 20-23, 25-26, 36, 38-40, 42-43, 46, 53, 72, 81-82, 84, 87, 98-99, 103-104, 111-112, 116, 132, 143, 165, 178
 - computacional, 36
 - del profesor, 20
- Modelo, 26, 43, 45-48, 50, 55, 61, 64, 77, 82-84, 87, 91, 96-98, 100-102, 104-106, 112-115, 119, 121-123, 127-129, 132, 137-141, 146, 166, 171-172
 - mental, 46-47, 105, 141
- Monitoreo, 21, 39, 79, 85, 123, 141-142, 152, 155, 164
- Motivaciones, 30, 40-41, 45, 53, 58, 74

N

- Neuronas, 60-61, 63
- Normas sociales, 30

O

- Objeto, 7, 20, 25, 29, 40, 42, 45, 50-51, 61, 67-69, 81-83, 86-87, 92, 103, 117-118, 139, 141, 149, 152, 158, 165, 172-173

P

- Participación periférica, 48
- Patrones, 8, 13-14, 20-21, 26, 34, 59, 76, 80, 83-84, 86, 89, 96-98, 104, 112, 146-147, 149, 151, 153-154, 156, 170
 - de comportamiento, 21, 80, 146-147, 149
- Pedagogía, 6-7, 22-23, 26, 29, 34-37, 39, 53, 121
- Pensamiento, 11-13, 21, 25, 34, 41-42, 48, 56, 58, 61-63, 66-67, 85, 100
 - abstracto, 62-63
 - computacional, 25

Percepción, 7, 22, 25, 32-33, 56-60, 79-80, 84, 110, 172

Plasticidad, 46, 55, 63

Predicción, 13, 58

Problemas, 7, 13-14, 23, 25, 30, 33, 35, 38, 43-44, 49-50, 56, 59-60, 62, 68, 70, 72, 74-80, 82, 84-86, 88, 102-103, 106-107, 110-111, 122, 135, 137, 143, 145, 150, 161, 164-166, 175, 177

auténticos, 30, 43-44, 49

convergentes, 77

de aprendizaje, 25, 102-103

divergentes, 77

Procesamiento de información, 19, 23, 38, 57, 60, 62, 79, 85, 110, 139, 151, 177

Procesos, 3, 5-8, 12-15, 20-23, 25-26, 31, 33-36, 39, 42-43, 47, 49-50, 55-57, 59, 63, 68, 78-84, 86, 88, 90, 97-98, 110, 112, 137, 140-143, 146-147, 154, 160, 166, 171, 173, 230

cognitivos, 7, 23, 25-26, 36, 47, 50, 55-57, 59, 63, 68, 79-80, 82-84, 88, 98, 110, 143

cognitivos conscientes, 55

cognitivos subconscientes, 55

de aprendizaje, 3, 5-6, 21-23, 25, 49, 78, 81, 146-147, 154, 230

de enseñanza, 26

metacognitivos, 39, 78, 142

Profesor, 15, 20, 33, 37, 39-45, 49, 63, 82, 106-107, 109, 121-123, 155-156, 161, 163, 165

Programas de computador, 15, 25, 71, 78

Prompts, 136

Protocolos verbales, 85

R

Rastreadores oculares, 153, 155

Rastreo, 8, 21, 26, 80, 83-86, 88-91, 103, 151-152

de información, 21, 83, 85, 89-90, 103

inferencial, 103

ocular, 86, 88

visual, 21, 83

Razonamiento, 7, 22, 25, 30, 32, 38, 56-57, 65-68, 71, 75, 78-81, 92, 135, 168

basado en casos, 30

causal, 65

deductivo, 65

inductivo, 65, 67

Realidad, 8, 26, 41, 107, 148, 172-174

aumentada, 8, 26, 107, 148, 172-174

virtual, 26, 173

Reconocimiento, 13-14, 21, 59, 85

de voz, 21

Recursos visuales, 49

Red inteligente, 148

Redes, 11, 25, 32, 48-50, 62-63, 72, 79-80, 98, 103, 106, 148-150, 155-156, 160, 163, 166, 169-171

neuronales, 32, 62, 103

semánticas, 32, 98

simbólicas, 32

sociales, 11, 25, 49-50, 148, 169-170

Refuerzo, 37, 109, 116, 142

Registro, 49, 84-87, 89, 152

Reglas de acción, 32

- Regulación, 47, 51, 80, 85, 99, 139, 141
- Relación, 7, 12-13, 19, 21, 23, 26, 29, 33-41, 45, 58-61, 72, 76, 84, 87-88, 92, 101, 109, 113, 117-118, 137, 139, 141-142
- Relatos, 30
- Relojes de Pulso con sensores, 153
- Reportes verbales, 21
- Representación, 13, 23, 25-26, 32-35, 42-43, 45-47, 52, 61-62, 64, 67, 74, 76, 79, 81, 83, 90, 93, 98-99, 102-103, 105, 112, 114-115, 117-119, 127, 135, 137, 140-141, 171-172, 175
- explícita, 32
- implícita, 32
- Respuesta, 19, 37, 109, 113, 119, 123-124, 127, 156, 175
- Retroalimentación pedagógica, 39
- Robótica educativa, 175
- S**
- Segmentación, 8, 90, 92
- Sensado, 56
- Sensar información, 48
- Sentido, 11, 22, 35, 37, 46, 52, 57, 60, 62, 69, 92, 106, 111-112, 129, 135, 142, 145, 150, 165, 170, 176-177
- del equilibrio, 57
- del movimiento, 57
- espacial, 57
- Sentidos, 35, 57, 59-60, 63, 110-111, 135, 137, 145-146
- Sinapsis, 61, 63
- Sistema, 13-14, 19-20, 35-36, 42-43, 45-47, 50-52, 56-61, 63, 75, 79-80, 82, 98-99, 105-107, 112, 119, 121-124, 128-129, 139-140, 142-143, 146-156, 158-160, 164, 168, 171, 177
- interactivo, 19, 42, 128
- Situación de aprendizaje, 33, 36, 41-43, 45-47, 151-152, 156, 173, 176
- Solución de problemas, 7, 13, 23, 25, 30, 38, 44, 49-50, 56, 59, 68, 72, 74-80, 82, 84-86, 106-107, 110-111, 135, 143, 145, 150, 165, 175
- T**
- Tácticas de aprendizaje, 20
- Tarea de aprendizaje, 8, 19-20, 26, 45, 84, 88, 96-98, 103-104, 107, 111-113, 117, 119, 123, 143, 146, 148-149, 154, 156, 176
- Tecnología computacional, 150
- Tecnologías, 6-8, 17, 20-23, 25-26, 29-31, 34-39, 42, 44, 47-48, 50, 52-53, 58, 78, 84, 109-111, 121, 143, 145-146, 148, 150-152, 158-160, 163-164, 171-172, 174, 176-178
- de la información, 8, 17, 20, 22, 36, 78, 145-146
- digitales, 6-7, 17, 21-23, 25-26, 29-31, 34-39, 42, 44, 47-48, 50, 52-53, 58, 109, 111, 143, 163-164, 172, 176-178
- Teléfonos inteligentes, 153, 155
- Teoría, 29, 31, 35, 37, 40-41, 49-51, 61, 65, 69-70, 74, 92-93, 109-110, 122, 128-129, 132, 139, 150, 158, 164
- de la actividad, 29, 50-51
- sociocultural, 40

Toma de decisiones, 7, 25, 56,
68-75, 79-82, 103, 110, 142,
150, 165

Top-Down, 32-33, 67-68

Trabajo cooperativo, 30

Trascripción, 90-92

U

Ubicuidad, 30, 50, 147, 175

User Story, 128-132

V

Verbalización, 22, 31, 83, 85-86,
98, 103

W

Web semántica, 8, 26, 148, 170-
172

Z

Zona de desarrollo próximo, 41,
122



*Modelación de procesos de aprendizaje
en escenarios computacionales*

editado por la Universidad Pedagógica Nacional, se compuso en
caracteres de las familias Dashiell Fine y Adelle, y se imprimió en
los talleres de Xpress Estudio Digital y Gráfico S. A. S.

Bogotá, Colombia, 2023

¿Qué importancia tienen la modelación del estudiante, la tarea y la pedagogía en el desarrollo de ambientes de aprendizaje? ¿Qué papel juegan la simulación y la interactividad para el desarrollo de conocimiento validable? ¿En qué medida puede comprenderse el proceso de aprendizaje como un sistema al que la ciencia cognitiva y las tecnologías de la información pueden realizar grandes aportes para su fortalecimiento? Estas son algunas de las preguntas que el trabajo del profesor Luis Bayardo Sanabria responde a lo largo de sus páginas. El derrotero propuesto en el plan de la obra conduce a sus lectores a conocer y analizar los fundamentos conceptuales del conocimiento humano en tareas de aprendizaje, los procesos cognitivos y la modelación de procesos mentales involucrados en dichas tareas, así como los ambientes de formación apoyados en recursos digitales y sus futuros escenarios. En palabras del autor, "esta obra recoge conceptos y aprendizajes de experiencias propias y trabajos elaborados por el grupo de investigación Cognitek, liderado por más de una década, cuyas realizaciones sirven como fuente para el análisis y la comprensión de los procesos de aprendizaje con tecnologías digitales". El documento reúne grandes aportes de la trayectoria académica del profesor Sanabria, consolidada en torno a los estudios en educación, ciencia y tecnología.

ISBN: 978-628-7518-94-0



Colección
Comunicación, Tecnología y Culturas
en Educación