

NEUROTECNOLOGÍA Y GAMIFICACIÓN

NUEVAS ESTRATEGIAS PARA POTENCIAR
LA ATENCIÓN Y LA MOTIVACIÓN



**Juan Tituaña, Aracelly Estrada, Betty Mendoza,
Kevin Cordova & Karina Morales**

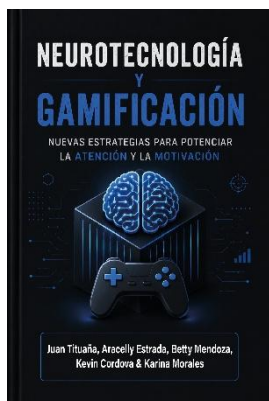
Neurotecnología y Gamificación

**Nuevas estrategias para potenciar la
atención y la motivación**



Autor:

*Juan Carlos Tituaña Tacuri
Aracelly Marilu Estrada Tigsilema
Betty Maribel Mendoza Aguila
Kevin Alejandro Cordova Choez
Karina Evelyn Morales Andrade*



Datos bibliográficos

ISBN:	978-9907-803-73-0
Título del libro:	Neurotecnología y Gamificación Nuevas estrategias para potenciar la atención y la motivación
Autores:	Tituaña Tacuri, Juan Carlos Estrada Tigsilema, Aracelly Marilu Mendoza Aguila, Betty Maribel Cordova Choez, Kevin Alejandro Morales Andrade, Karina Evelyn
Editorial:	SAGA
Materia:	370 - Educación
Público objetivo:	Profesional / académico
Publicado:	2026-09-11
Número de edición:	1
Tamaño:	5Mb
Soporte:	Libro digital descargable
Formato:	Pdf (.pdf)
Idioma:	Español
DOI:	https://doi.org/10.63415/saga.2026.127

Hecho En el Ecuador / Made in Ecuador

Autores

Juan Carlos Tituaña Tacuri

Unidad Educativa de las Fuerzas Armadas Colegio Militar
Nº9 Eugenio Espejo

✉ juanka.docente@gmail.com

 <https://orcid.org/0009-0001-2007-5240>

Santa Elena, Ecuador

Juan Carlos Tituaña Tacuri posee una trayectoria académica vinculada con la educación, las tecnologías digitales y las ciencias sociales, campos que articulan una preparación interdisciplinaria orientada al ejercicio docente y al análisis de procesos formativos. Obtuvo el grado de Magíster en Educación y Tecnologías de la Información y Comunicación, con mención en Formación del Profesorado, en la Universidad Andina Simón Bolívar, formación que amplió sus competencias para integrar recursos tecnológicos, fundamentos pedagógicos y criterios de innovación dentro de la práctica profesional. Previamente alcanzó la Licenciatura en Ciencias de la Educación, mención Ciencias Sociales, otorgada por la Universidad Central del Ecuador, antecedente que fortaleció su comprensión de las dinámicas históricas, culturales y educativas. Su producción investigativa evidencia interés por problemáticas asociadas con la transformación digital de la enseñanza superior. En 2024 participó en la publicación del artículo “Analysis of The Implementation of Artificial Intelligence in The Detection and Prevention of Academic Plagiarism in A University Environment”, difundido por la Revista de Gestão Social e Ambiental. Tal contribución aborda la incorporación de inteligencia artificial en procedimientos universitarios relacionados con integridad académica. Su perfil reúne preparación pedagógica, alfabetización tecnológica, perspectiva social y experiencia investigadora, cualidades pertinentes para generar aportes rigurosos en espacios educativos.

Aracelly Marilu Estrada Tigsilema

Unidad Educativa La Magdalena



mary_17et@yahoo.es



<https://orcid.org/0000-0001-9098-184X>

Chimbo, Ecuador

Aracelly Marilu Estrada Tigsilema cuenta con una formación universitaria que integra saberes educativos, contables, tributarios y administrativos, combinación que configura un perfil profesional de carácter multidisciplinario. Alcanzó el grado de Magíster en Contabilidad y Auditoría, con mención en Gestión Tributaria, en la Universidad Estatal de Bolívar, donde profundizó conocimientos relacionados con control financiero, normativa fiscal, planificación y evaluación de procedimientos organizacionales. También obtuvo una Maestría en Educación Básica en la Universidad Estatal de Milagro, preparación que amplió su dominio de fundamentos pedagógicos, planificación curricular y acompañamiento de procesos de aprendizaje. Su formación inicial corresponde al título de Ingeniera en Contabilidad y Auditoría CP, concedido por la Universidad Estatal de Bolívar, credencial que consolidó capacidades analíticas aplicables al examen de información económica y a la toma de decisiones sustentadas en evidencia. La convergencia entre dos áreas de especialización le permite comprender fenómenos institucionales desde perspectivas complementarias, atendiendo tanto a dimensiones formativas como a componentes técnicos de gestión. Su recorrido académico refleja una disposición permanente hacia la actualización profesional y el fortalecimiento de competencias. Mediante esa diversidad disciplinar, aporta una mirada organizada, metódica y reflexiva, respaldada por estudios de posgrado y una base especializada de manera consistente en auditoría, tributación y enseñanza.

Betty Maribel Mendoza Aguila

Unidad Educativa La Magdalena



betty83maribel@gmail.com



<https://orcid.org/0009-0003-9465-854X>

Chimbo, Ecuador

Betty Maribel Mendoza Aguila ha desarrollado una preparación profesional centrada en la educación básica y la informática educativa, áreas cuya convergencia favorece una comprensión amplia de los procesos de enseñanza mediados por herramientas digitales. Es Magíster en Educación Básica por la Universidad Estatal de Milagro, grado mediante el cual fortaleció conocimientos pedagógicos relacionados con planificación, evaluación, metodologías de aula y acompañamiento del aprendizaje escolares. Su formación de pregrado corresponde a la Licenciatura en Ciencias de la Educación, mención Informática Educativa, obtenida en la Universidad Estatal de Bolívar. Dicha especialización le proporcionó fundamentos para vincular recursos computacionales con propósitos didácticos, organizar experiencias formativas apoyadas en medios tecnológicos y valorar alternativas destinadas a enriquecer la labor del profesorado. La complementariedad de sus estudios configura un perfil capaz de relacionar principios pedagógicos con competencias digitales, atendiendo las necesidades del alumnado y las posibilidades de innovación dentro de instituciones escolares. Su recorrido universitario revela interés por el perfeccionamiento de la práctica docente, la incorporación pertinente de instrumentos informáticos y la construcción de propuestas educativas fundamentadas. Desde esa perspectiva profesional, reúne conocimientos que favorecen el diseño de actividades, la selección de recursos y el análisis de estrategias orientadas al mejoramiento continuo de la experiencia escolar.

Kevin Alejandro Cordova Choez

Investigador Independiente



k.acordova@hotmail.com



<https://orcid.org/0009-0009-8301-446X>

Quito, Ecuador

Kevin Alejandro Cordova Choez presenta un perfil académico caracterizado por la articulación entre estadística, matemática, física y pedagogía de las ciencias experimentales, disciplinas que le proporcionan herramientas cuantitativas y didácticas para abordar problemas educativos con precisión analítica. Posee el grado de Magíster en Pedagogía de las Ciencias Experimentales, con mención en Matemática y Física, otorgado por la Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Mediante dicho posgrado profundizó en fundamentos disciplinares, estrategias de enseñanza, razonamiento científico y elaboración de propuestas orientadas al aprendizaje de contenidos abstractos mediante procedimientos comprensibles y verificables. Es también Ingeniero Estadístico por la Universidad Central del Ecuador, preparación que consolidó competencias para organizar datos, interpretar resultados, formular inferencias y sustentar decisiones mediante métodos cuantitativos. La combinación de ambas titulaciones configura una trayectoria especialmente apta para relacionar evidencia numérica con principios pedagógicos, favoreciendo aproximaciones sistemáticas a la evaluación y al estudio de fenómenos asociados con la formación científica. Su preparación permite reconocer patrones, establecer relaciones entre variables y construir argumentos respaldados por información medible. A partir de esa convergencia disciplinaria, aporta rigor metodológico, pensamiento lógico y sensibilidad didáctica, rasgos que enriquecen su desempeño profesional y favorecen la formulación de iniciativas académicas sustentadas en análisis, precisión conceptual y razonamiento científico.

Karina Evelyn Morales Andrade

Escuela de Educación Básica Remigio Crespo Toral



karina.moralesa@docentes.educacion.edu.ec



<https://orcid.org/0009-0007-0606-0230>

Cayambe, Ecuador

Karina Evelyn Morales Andrade posee una formación orientada a la educación básica, la docencia intercultural bilingüe y la capacitación de personas, componentes que conforman un perfil comprometido con prácticas pedagógicas sensibles a la diversidad lingüística y cultural. Obtuvo el grado de Magíster en Educación Básica en la Universidad Estatal de Milagro, preparación mediante la cual fortaleció conocimientos vinculados con planificación educativa, metodologías de enseñanza, evaluación de aprendizajes y desarrollo integral del estudiantado. Su formación de pregrado corresponde a la Licenciatura en Ciencias de la Educación con mención en Docencia Básica Intercultural Bilingüe, otorgada por la Universidad Politécnica Salesiana, título que aporta fundamentos para atender realidades escolares plurales y promover procesos formativos respetuosos de distintas identidades, lenguas y tradiciones. Complementa su trayectoria con certificaciones del Sistema Nacional de Cualificaciones y Capacitación Profesional en Formación de Formadores, acreditación que amplía sus capacidades para orientar experiencias de aprendizaje dirigidas a diversos grupos. La integración de estudios universitarios y certificaciones especializadas evidencia interés por el perfeccionamiento continuo, la mediación pedagógica y la preparación de otros profesionales. Su perfil combina sensibilidad intercultural, vocación educativa y competencias para organizar acciones formativas, favoreciendo intervenciones responsables, inclusivas y pertinentes ante comunidades con características sociales, culturales y lingüísticas diversas.



El contenido y las ideas expuestas en esta obra se encuentran protegidos por la normativa vigente en materia de propiedad intelectual y constituyen derechos exclusivos de su(s) autor(es)

Todos los derechos reservados © 2026

Sinopsis

Neurotecnología y gamificación: nuevas estrategias para potenciar la atención y la motivación presenta una aproximación interdisciplinaria a la convergencia entre neurociencia, tecnología educativa, inteligencia artificial y diseño gamificado, con énfasis en los procesos cognitivos que regulan la atención, la motivación, la memoria y el compromiso durante el aprendizaje. La obra analiza las bases neurocognitivas de las experiencias educativas digitales y examina redes atencionales, sistemas de recompensa, carga cognitiva, neuroplasticidad y biomarcadores vinculados con la actividad académica. A partir de tales fundamentos, desarrolla principios para diseñar experiencias neuroadaptativas mediante mecánicas de recompensa, narrativas, personalización algorítmica e interfaces multimodales capaces de responder a diferentes estados cognitivos. También estudia la relación entre curiosidad, flujo, fatiga atencional y permanencia en ecosistemas gamificados, junto con procedimientos de electroencefalografía, seguimiento ocular, biosensores, analítica del aprendizaje e inteligencia artificial orientados a interpretar patrones conductuales y neurofisiológicos. La discusión incorpora una perspectiva ética centrada en privacidad cognitiva, consentimiento informado, equidad neurodigital, persuasión algorítmica y prevención de dinámicas adictivas. La integración de interfaces cerebro-computadora, realidad extendida y aprendizaje adaptativo completa una propuesta académica destinada a comprender y diseñar entornos educativos tecnológicamente avanzados, cognitivamente fundamentados, pedagógicamente pertinentes y responsables con la autonomía del estudiante.

Palabras clave: tecnología educacional, motivación, inteligencia artificial, estrategias educativas, enseñanza asistida por ordenador

Synopsis

Neurotechnology and Gamification: New Strategies to Enhance Attention and Motivation presents an interdisciplinary approach to the convergence of neuroscience, educational technology, artificial intelligence, and gamified design, emphasizing the cognitive processes that regulate attention, motivation, memory, and engagement during learning. The book analyzes the neurocognitive foundations of digital educational experiences and examines attentional networks, reward systems, cognitive load, neuroplasticity, and biomarkers associated with academic activity. Building on those foundations, it develops principles for designing neuroadaptive experiences through reward mechanics, narratives, algorithmic personalization, and multimodal interfaces capable of responding to different cognitive states. It also studies the relationship between curiosity, flow, attentional fatigue, and persistence in gamified ecosystems, together with electroencephalography, eye tracking, biosensors, learning analytics, and artificial intelligence procedures aimed at interpreting behavioral and neurophysiological patterns. The discussion incorporates an ethical perspective centered on cognitive privacy, informed consent, neurodigital equity, algorithmic persuasion, and the prevention of addictive dynamics. The integration of brain-computer interfaces, extended reality, and adaptive learning completes an academic proposal intended to understand and design technologically advanced, cognitively grounded, pedagogically relevant educational environments that respect learner autonomy.

Keywords: educational technology, motivation, artificial intelligence, educational strategies, computer assisted instruction

Índice General

Sinopsis.....	ix
Índice General	11
Índice de Tablas	14
Índice de Figuras.....	15
Introducción	17
Capítulo I Neurotecnología educativa y arquitectura neurocognitiva del aprendizaje	21
1.1. Neurotecnología educativa y cartografía de los procesos cognitivos en entornos digitales	25
1.2. Redes neuronales de la atención y su interacción con estímulos educativos gamificados	28
1.3. Sistemas dopaminérgicos, recompensa y construcción de experiencias motivacionales.....	32
1.4. Carga cognitiva y procesamiento de información en escenarios de aprendizaje interactivo.....	35
1.5. Neuroplasticidad y consolidación del aprendizaje mediado por experiencias digitales.....	39
1.6. Biomarcadores neurocognitivos para interpretar atención, emoción y compromiso académico	42
Capítulo II Gamificación neuroadaptativa y diseño de experiencias educativas.....	49
2.1. Arquitecturas de gamificación basadas en perfiles cognitivos y patrones de interacción	53
2.2. Mecánicas de recompensa y retroalimentación desde una perspectiva neurocognitiva.....	56
2.3. Narrativas gamificadas y activación de procesos atencionales, emocionales y mnésicos	60

2.4. Diseño de experiencias neuroadaptativas según estados cognitivos del estudiante	63
2.5. Personalización algorítmica de niveles, misiones y trayectorias de aprendizaje	67
2.6. Interfaces multimodales y diseño sensorial para experiencias gamificadas de alta implicación	70
Capítulo III Atención, motivación y engagement en ecosistemas gamificados.....	75
3.1. Atención sostenida, selectiva y alternante en actividades educativas gamificadas.....	79
3.2. Motivación intrínseca y extrínseca ante sistemas digitales de recompensas	82
3.3. Estado de flujo y calibración neurocognitiva de la dificultad educativa.....	86
3.4. Curiosidad, novedad y sorpresa como activadores de la participación cognitiva	89
3.5. Fatiga atencional y regulación de la intensidad estimular en experiencias gamificadas.....	92
3.6. Engagement neurocognitivo y permanencia del estudiante en ecosistemas digitales de aprendizaje	96
Capítulo IV Neurodatos, inteligencia artificial y analítica del comportamiento gamificado	101
4.1. Electroencefalografía y registro de patrones atencionales durante experiencias gamificadas.....	105
4.2. Eye tracking y análisis de trayectorias visuales en interfaces educativas interactivas.....	108
4.3. Biosensores y wearables para el registro de respuestas psicofisiológicas durante el aprendizaje.....	112
4.4. Inteligencia artificial para la interpretación multimodal de neurodatos y datos conductuales.....	115

4.5. Modelos predictivos de atención, motivación y abandono en sistemas gamificados	118
4.6. Learning analytics neurocognitiva para la toma de decisiones pedagógicas en tiempo real	122
Capítulo V Neurogamificación responsable y escenarios educativos de nueva generación.....	127
5.1. Neuroética aplicada al diseño de experiencias gamificadas y persuasivas.....	131
5.2. Privacidad cognitiva, neurodatos y consentimiento informado del estudiante.....	134
5.3. Límites de la persuasión algorítmica y prevención de patrones adictivos en la gamificación	138
5.4. Equidad neurodigital y sesgos algorítmicos en sistemas educativos personalizados	141
5.5. Interfaces cerebro-computadora y experiencias gamificadas controladas mediante actividad neural	145
5.6. Ecosistemas de neurogamificación con inteligencia artificial, realidad extendida y aprendizaje adaptativo.....	148
Conclusiones	153
Referencias Bibliográficas.....	157

Índice de Tablas

Tabla 1 <i>Arquitectura neurocognitiva del aprendizaje y aportes de la neurotecnología educativa</i>	45
Tabla 2 <i>Componentes de la gamificación neuroadaptativa y su función en el diseño de experiencias educativas</i>	73
Tabla 3 <i>Procesos neurocognitivos y criterios pedagógicos en ecosistemas gamificados de aprendizaje</i>	99
Tabla 4 <i>Neurodatos, inteligencia artificial y analítica del comportamiento gamificado</i>	125
Tabla 5 <i>Dimensiones de la neurogamificación responsable y escenarios educativos de nueva generación</i>	151

Índice de Figuras

Figura 1 <i>Arquitectura neurocognitiva del aprendizaje</i>	23
Figura 2 <i>Dinámica de la atención gamificada</i>	29
Figura 3 <i>Procesamiento cognitivo en entornos interactivos</i>	37
Figura 4 <i>Arquitectura de la experiencia neuroadaptativa</i>	51
Figura 5 <i>Circuito neurocognitivo de recompensa y retroalimentación</i>	57
Figura 6 <i>Adaptación educativa según estados cognitivos</i>	65
Figura 7 <i>Dinámica neurocognitiva del aprendizaje gamificado</i>	77
Figura 8 <i>Equilibrio motivacional ante recompensas digitales</i>	83
Figura 9 <i>Activadores cognitivos de la participación</i>	91
Figura 10 <i>Del neurodato a la decisión pedagógica</i>	103
Figura 11 <i>Trayectorias visuales y aprendizaje interactivo</i>	109
Figura 12 <i>Interpretación multimodal mediante inteligencia artificial</i>	117
Figura 13 <i>Neurogamificación responsable y educación de nueva generación</i>	129
Figura 14 <i>Protección de la privacidad cognitiva y los neurodatos</i>	135
Figura 15 <i>Equidad neurodigital en la personalización educativa</i>	143

Introducción

La relación entre tecnología, aprendizaje y motivación ha adquirido una relevancia creciente conforme los entornos digitales incorporan mecánicas de juego, sistemas adaptativos y recursos capaces de registrar respuestas cognitivas y conductuales. Sailer y Homner (2020), mediante un metaanálisis sobre gamificación del aprendizaje, identificaron efectos favorables en resultados cognitivos, motivacionales y conductuales. Desde aquella evidencia, la discusión académica ha avanzado hacia una pregunta más amplia: ¿qué aporta el conocimiento neurocognitivo al diseño de experiencias educativas gamificadas?

La expansión de plataformas educativas, inteligencia artificial, sensores y analítica del aprendizaje ha favorecido nuevas posibilidades para estudiar la atención y la motivación durante actividades mediadas tecnológicamente. Privitera y Du (2022) sitúan la neurotecnología educativa como un campo que requiere articular conocimiento neurocientífico, decisiones pedagógicas y desarrollo tecnológico. Tal convergencia permite observar el aprendizaje desde indicadores complementarios, aunque también exige prudencia interpretativa para evitar asociaciones simplificadas entre actividad cerebral, conducta observable, rendimiento académico y experiencia subjetiva del estudiante.

La gamificación ocupa un lugar relevante dentro de dicha convergencia porque transforma objetivos, retroalimentación, progresión y recompensas en componentes de una experiencia educativa estructurada. Ritzhaupt et al. (2021) encontraron efectos positivos de la gamificación sobre variables afectivas y conductuales, mientras Li, Ma y Shi (2023) documentaron mediante metaanálisis beneficios educativos cuya magnitud depende de las características de implementación. La evidencia invita, por tanto, a abandonar fórmulas universales y orientar la investigación hacia

diseños sensibles a diferencias cognitivas, motivacionales y pedagógicas.

Una cuestión especialmente relevante reside en comprender la relación entre recompensa, autonomía, competencia y persistencia. Li, Hew y Du (2024) observaron que la gamificación puede fortalecer la motivación intrínseca y las percepciones de autonomía y relación, aunque sus efectos sobre la competencia resultan más limitados. Watanabe y Naruse (2022), desde registros electrofisiológicos, vincularon indicadores neuronales con la definición de metas dentro de aplicaciones gamificadas. Ambas perspectivas muestran el valor de integrar experiencia psicológica, comportamiento y medición neurofisiológica sin reducir el aprendizaje a una señal aislada.

La justificación académica del libro radica, precisamente, en reunir campos que con frecuencia avanzan por vías paralelas: neurociencia educativa, gamificación, analítica, inteligencia artificial y diseño de experiencias. Scharinger et al. (2023) combinaron electroencefalografía y seguimiento ocular para estudiar una tarea de memoria de trabajo gamificada, mostrando el potencial de las mediciones multimodales para valorar esfuerzo y experiencia. Ouhaichi, Spikol y Vogel (2023) ampliaron dicha perspectiva al sistematizar tendencias de investigación relacionadas con analítica multimodal del aprendizaje y sus posibilidades educativas.

Bajo tal perspectiva, la obra persigue analizar los fundamentos neurocognitivos asociados con atención, motivación, memoria y compromiso; examinar principios de gamificación neuroadaptativa; valorar procedimientos de adquisición e interpretación de neurodatos; estudiar las posibilidades de personalización mediante inteligencia artificial; y delimitar criterios éticos para su aplicación educativa. Xiao y Hew (2024) aportan evidencia pertinente al mostrar diferencias entre gamificación personalizada y diseños uniformes. El propósito no

consiste en presentar recetas tecnológicas, sino en construir criterios fundamentados para decisiones pedagógicas responsables.

Las preguntas que orientan el recorrido pueden formularse de manera articulada: ¿qué procesos neurocognitivos participan en experiencias educativas gamificadas?, ¿qué relaciones existen entre atención, recompensa, motivación y permanencia?, ¿en qué medida la personalización algorítmica puede responder a diferencias individuales?, ¿qué información aportan EEG, seguimiento ocular, biosensores y datos conductuales al diseño pedagógico?, y ¿qué límites éticos deben regir la recopilación e interpretación de neurodatos? González-González et al. (2023) ofrecen antecedentes relevantes sobre arquitecturas de gamificación personalizada vinculadas con sistemas adaptativos.

Los tres primeros capítulos desarrollan la base conceptual y pedagógica necesaria para responder tales interrogantes. El capítulo uno aborda neurotecnología educativa, redes atencionales, recompensa, carga cognitiva, neuroplasticidad y biomarcadores. El segundo examina gamificación neuroadaptativa, retroalimentación, narrativas, personalización e interfaces multimodales. El tercero estudia atención, motivación, flujo, curiosidad, fatiga y engagement. Zourmpakis, Kalogiannakis y Papadakis (2023) muestran que adaptar elementos gamificados puede modificar la motivación, reforzando la pertinencia de estudiar diseños diferenciados y sus efectos educativos.

El cuarto capítulo desplaza el análisis hacia neurodatos, inteligencia artificial y analítica del comportamiento gamificado mediante EEG, eye tracking, biosensores, modelos predictivos y learning analytics. Khosravi et al. (2022) examinan el potencial de sensores portátiles para enriquecer procesos de aprendizaje, mientras de Oliveira et al. (2021) muestran el valor de la analítica para identificar patrones vinculados con permanencia y abandono universitario. La combinación de fuentes multimodales abre

posibilidades relevantes, pero requiere distinguir predicción, interpretación pedagógica y causalidad.

El quinto capítulo aborda neuroética, privacidad cognitiva, consentimiento informado, equidad neurodigital, persuasión algorítmica, interfaces cerebro-computadora y escenarios educativos de nueva generación. Yuste (2023) ha defendido la protección de los neurodatos ante el avance de tecnologías capaces de registrar información vinculada con actividad cerebral, mientras Ligthart et al. (2023) analizan los fundamentos éticos y jurídicos relacionados con los denominados neuroderechos. El libro articula, en consecuencia, innovación y responsabilidad para promover experiencias educativas cognitivamente fundamentadas, pedagógicamente pertinentes y respetuosas de la autonomía humana.

Capítulo I

Neurotecnología educativa y arquitectura neurocognitiva del aprendizaje

La educación digital ha dejado de ser un territorio definido por pantallas, plataformas y recursos multimedia para convertirse en un espacio donde actividad cerebral, experiencia y diseño pedagógico mantienen relaciones cada vez más visibles. Comprender el aprendizaje desde una perspectiva neurocognitiva permite observar procesos que antes permanecían indirectamente inferidos mediante calificaciones o conductas. La neurotecnología educativa participa de dicho cambio al aportar instrumentos capaces de ampliar la lectura de la experiencia humana mientras aprende.

Hablar de arquitectura neurocognitiva implica reconocer que aprender compromete sistemas interdependientes y dinámicos. Atención, memoria, emoción, motivación y regulación del esfuerzo participan con intensidades variables a medida que una persona interpreta información, decide, practica y corrige. Privitera y Du (2022) plantean que el desarrollo de la neurotecnología educativa requiere vincular los avances técnicos con propósitos pedagógicos bien fundamentados. La pregunta relevante, entonces, no reside en medir más, sino en comprender mejor aquello que merece ser medido.

Bajo tal perspectiva, los entornos digitales ofrecen una oportunidad singular para relacionar acciones observables con señales neurofisiológicas producidas durante el aprendizaje. Cada pausa, elección, respuesta o cambio de atención forma parte de una secuencia temporal susceptible de análisis. Hung y Li (2024), mediante registros electroencefalográficos en educación universitaria, evidencian variaciones atencionales durante actividades académicas mediadas tecnológicamente. La experiencia educativa aparece, desde esa mirada, menos uniforme de lo que las métricas convencionales suelen permitir apreciar en profundidad.

La gamificación incorpora otra dimensión al problema porque transforma metas, retroalimentaciones y progresos en señales capaces de orientar la conducta. Su valor educativo no

depende de multiplicar puntos o recompensas, sino de articular mecánicas con procesos psicológicos relevantes. Sailer y Homner (2020) encontraron efectos favorables de la gamificación sobre resultados cognitivos, motivacionales y conductuales, aunque dichos efectos presentan variaciones. Diseñar experiencias gamificadas exige, por ello, comprender las condiciones que convierten interacción y participación en oportunidades genuinas de aprendizaje.

Figura 1

Arquitectura neurocognitiva del aprendizaje



Motivarse para aprender tampoco equivale a responder mecánicamente ante una recompensa. La experiencia motivacional reúne expectativas, valoración, autonomía, pertenencia y percepción de progreso, componentes que dialogan con sistemas cerebrales vinculados al aprendizaje por refuerzo. Li et al. (2024) encontraron que la gamificación puede favorecer motivación intrínseca, autonomía y relación, aunque el impacto sobre competencia fue menor. Tal matiz resulta revelador: ninguna mecánica posee eficacia universal, pues su significado depende de la relación construida entre persona, meta y actividad.

Junto con la motivación aparece una cuestión menos visible, aunque decisiva: la cantidad de recursos mentales requerida para procesar una experiencia interactiva. Interfaces atractivas pueden favorecer orientación y participación, pero también introducir información secundaria que compite con el aprendizaje. Scharinger et al. (2023), mediante EEG y seguimiento ocular, estudiaron una tarea gamificada de memoria de trabajo y mostraron la conveniencia de examinar conjuntamente desempeño y respuestas psicofisiológicas. Interactuar más no significa necesariamente procesar mejor ni aprender más.

La experiencia adquiere profundidad cuando deja modificaciones capaces de mantenerse más allá de la sesión inmediata. Allí adquieren relevancia la plasticidad neural, la práctica distribuida, la recuperación y la transferencia. Coban et al. (2022), al analizar investigaciones sobre realidad virtual inmersiva, encontraron efectos favorables sobre el aprendizaje, acompañados por variaciones relacionadas con el diseño y las condiciones de aplicación. La tecnología ofrece posibilidades valiosas, pero la permanencia del aprendizaje continúa dependiendo de procesos de reorganización que requieren tiempo, actividad y significado.

Medir tales procesos abre posibilidades fascinantes y, al mismo tiempo, exige prudencia interpretativa. Señales electroencefalográficas, potenciales relacionados con eventos o patrones oculares pueden aportar indicios sobre estados cognitivos durante una actividad. Watanabe y Naruse (2022) emplearon el componente P300 para analizar metas de puntuación en gamificación educativa desde la perspectiva motivacional. Una señal neural, sin embargo, no constituye una traducción transparente de la experiencia interna; adquiere valor cuando converge con evidencia conductual, pedagógica y subjetiva disponible.

Por esa razón, la neurotecnología educativa requiere una mirada que combine precisión científica con sensibilidad hacia la

complejidad del estudiante. Los datos fisiológicos pueden ampliar la comprensión del aprendizaje, pero no reemplazan la voz, la agencia ni la diversidad de quienes participan. Anguera et al. (2023), mediante un videojuego cognitivo y físico dirigido a población infantil, mostraron posibilidades prometedoras para favorecer procesos atencionales. Resultados semejantes cobran verdadero alcance cuando permanecen vinculados con propósitos educativos responsables y humanamente significativos.

A partir de dicha perspectiva, el capítulo articula neurotecnología, arquitectura neurocognitiva y diseño de experiencias digitales como dimensiones complementarias de una misma pregunta educativa. La atención permite orientar recursos; la motivación sostiene la acción; la carga cognitiva regula exigencias; la plasticidad favorece permanencia, mientras los biomarcadores aportan ventanas de observación. Comprender sus relaciones permite fundamentar estrategias gamificadas menos dependientes del artificio y más cercanas a los ritmos, necesidades y posibilidades reales del aprendizaje humano contemporáneo.

1.1. Neurotecnología educativa y cartografía de los procesos cognitivos en entornos digitales

La neurotecnología educativa amplía la observación del aprendizaje al registrar señales asociadas con atención, carga mental, memoria y regulación durante actividades mediadas por pantallas. Su valor no reside en convertir la experiencia cognitiva en cifras aisladas, sino en construir mapas interpretativos capaces de relacionar actividad cerebral, conducta y desempeño. Desde tal perspectiva, la cartografía neurocognitiva permite reconocer variaciones temporales del procesamiento y aporta una lectura fina de la interacción entre estudiante, tarea y entorno digital.

Cartografiar procesos cognitivos exige comprender que la actividad neuronal cambia a lo largo de una misma experiencia de aprendizaje. Un ejercicio puede iniciar con elevada orientación

atencional, atravesar momentos de fatiga y recuperar intensidad ante una retroalimentación significativa. Privitera y Du (2022) plantean que la neurotecnología educativa requiere marcos responsables que conecten medición, teoría pedagógica y utilidad formativa. Bajo tal criterio, los datos neurofisiológicos adquieren sentido cuando dialogan con decisiones didácticas y preguntas educativas pertinentes.

En entornos digitales, la electroencefalografía ofrece una vía para examinar fluctuaciones atencionales con resolución temporal cercana al desarrollo de la tarea. Hung y Li (2024), mediante registros EEG en una asignatura universitaria combinada de informática, vincularon niveles de atención con distintos momentos de la experiencia académica. Tal aproximación desplaza la evaluación desde resultados acumulados hacia dinámicas cognitivas cambiantes, permitiendo identificar periodos de mayor involucramiento, dispersión o esfuerzo sin reducir al estudiante a una puntuación permanente.

La cartografía cognitiva gana profundidad cuando las señales cerebrales se interpretan junto con huellas de interacción digital. Tiempos de respuesta, secuencias de navegación, pausas, errores, movimientos oculares y patrones fisiológicos pueden describir facetas del aprendizaje. Ouhaichi, Spikol y Vogel (2023) destacan el crecimiento de la analítica multimodal como campo orientado a integrar fuentes heterogéneas. La convergencia de registros permite formular representaciones dinámicas, donde cada indicador aporta y ninguna medida reclama explicar por completo la experiencia.

Una arquitectura neurocognitiva del aprendizaje necesita distinguir entre registrar actividad y atribuirle significado pedagógico. Una variación eléctrica, un cambio pupilar o una pausa prolongada carecen de interpretación unívoca fuera de la tarea que los provoca. Por ello, la cartografía debe apoyarse en diversos modelos cognitivos, objetivos de aprendizaje y evidencias

conductuales convergentes. El mapa resultante funciona como representación probabilística de estados transitorios, no como retrato definitivo de capacidades, rasgos personales o potencial académico del alumnado.

Desde una mirada temporal, los mapas neurocognitivos permiten estudiar transiciones entre concentración, esfuerzo, automatización y recuperación. Tales transiciones resultan especialmente relevantes en plataformas donde el ritmo de interacción puede modificarse mediante retroalimentación, secuenciación adaptativa o cambios en la complejidad. La utilidad pedagógica aparece al detectar patrones y relacionarlos con demandas específicas. En lugar de perseguir una vigilancia continua, interesa reconocer momentos informativos que ayuden a comprender la trayectoria cognitiva desplegada durante una actividad de aprendizaje.

La analítica multimodal aporta una estructura fértil para dicha lectura, pues combina registros neurofisiológicos con evidencias conductuales y ambientales. Ouhaichi et al. (2023) señalan que la investigación del área ha diversificado sensores, métodos y fuentes de datos para caracterizar procesos de aprendizaje. Esa diversidad favorece mapas con riqueza interpretativa, aunque también obliga a justificar cada variable. Acumular señales sin una pregunta pedagógica produce abundancia informativa, pero no conocimiento útil para orientar enseñanza, evaluación o diseño.

La precisión técnica tampoco elimina la necesidad de cautela epistemológica. Los indicadores neurotecnológicos operan mediante inferencias: una señal registrada se vincula con constructos cognitivos a partir de modelos, protocolos y condiciones experimentales. Privitera y Du (2022) advierten sobre la importancia de orientar el desarrollo del campo hacia aplicaciones pertinentes y responsables. Por tanto, una cartografía rigurosa debe declarar límites, márgenes de incertidumbre y

criterios de interpretación, evitando convertir correlaciones neurofisiológicas en diagnósticos categóricos sobre estudiantes.

A nivel de diseño, la cartografía de procesos cognitivos puede alimentar sistemas digitales sensibles a variaciones de atención. La información obtenida permitiría ajustar ritmos, distribuir pausas, graduar estímulos o seleccionar momentos oportunos para ofrecer retroalimentación. Sin embargo, la adaptación pedagógica requiere preservar agencia y transparencia. El estudiante necesita comprender qué datos personales registran y con qué propósito. Personalizar cobra valor cuando fortalece autonomía, metacognición y participación, en vez de imponer trayectorias determinadas por algoritmos opacos.

En la arquitectura neurocognitiva propuesta para el aprendizaje, la cartografía cumple una función articuladora: conecta señales biológicas, acciones y decisiones pedagógicas dentro de una representación cambiante. Su aporte consiste en hacer visibles ritmos y transiciones que suelen quedar ocultos en calificaciones o métricas de plataforma. Desde allí, la neurotecnología puede sostener diseños digitales más sensibles a la variabilidad humana y preparar una base conceptual para analizar posteriormente atención, motivación y experiencias gamificadas desde parámetros neuroeducativos.

1.2. Redes neuronales de la atención y su interacción con estímulos educativos gamificados

Las redes neuronales de la atención constituyen un sistema distribuido que regula la selección, orientación y mantenimiento de recursos cognitivos frente a múltiples demandas educativas. Su funcionamiento articula regiones frontales y parietales con circuitos vinculados al control ejecutivo, la vigilancia y la detección de estímulos relevantes. En ambientes gamificados, dicha arquitectura adquiere particular interés, pues recompensas, metas, señales visuales y retroalimentación pueden modular la prioridad

concedida a determinados eventos durante una actividad de aprendizaje digital.

Figura 2
Dinámica de la atención gamificada



La atención no opera como mecanismo unitario ni permanece estable durante una tarea. Alterna fases de focalización, reorientación y control según las demandas perceptivas, cognitivas y motivacionales. Hung y Li (2024) identificaron mediante EEG variaciones en los niveles atencionales de universitarios durante experiencias de aprendizaje combinado. Sus hallazgos permiten comprender la atención como proceso dinámico, susceptible de cambiar ante formatos de actividad, exigencias y condiciones de participación que acompañan la enseñanza mediada por tecnología digital.

Dentro de una experiencia gamificada, los estímulos adquieren relevancia cuando orientan la percepción hacia información vinculada con una meta educativa. Indicadores de progreso, cambios sonoros, recompensas o señales de logro pueden actuar como marcadores capaces de captar recursos atencionales.

Sin embargo, la intensidad estimular no garantiza aprendizaje. La relación pedagógica depende del equilibrio entre saliencia y propósito: aquello que atrae la mirada necesita conducir hacia operaciones cognitivas pertinentes, evitando competir innecesariamente con el contenido académico.

La red atencional dorsal participa en la orientación voluntaria hacia metas, mientras circuitos ventrales intervienen ante acontecimientos relevantes que interrumpen el foco vigente. En gamificación, ambas dinámicas pueden coexistir: el estudiante mantiene una meta mientras responde a señales inesperadas, recompensas o cambios de estado. Tal alternancia reclama diseño cuidadoso. Una mecánica eficaz no busca capturar atención de manera incesante, sino organizar transiciones perceptivas que acompañen el razonamiento y preserven continuidad cognitiva durante la actividad formativa.

El vínculo entre atención y motivación resulta visible cuando una meta posee dificultad ajustada y valor personal. Watanabe y Naruse (2022) analizaron mediante el componente P300 la respuesta neuronal asociada con niveles de puntuación objetivo en aplicaciones educativas gamificadas, relacionándola con motivación intrínseca. La evidencia aporta una consideración: establecer metas no constituye un detalle ornamental. La distancia entre capacidad y objetivo puede modificar el compromiso atencional y la valoración cognitiva de los estímulos presentados al estudiante.

Los videojuegos educativos ofrecen condiciones para coordinar atención sostenida, inhibición de distractores y respuesta ante información cambiante. Anguera et al. (2023) estudiaron una intervención que integraba demandas cognitivas y actividad física mediante videojuego en población infantil, observando resultados prometedores vinculados con la atención. Más allá del formato lúdico, interesa la arquitectura de la experiencia: reglas comprensibles, retroalimentación y exigencias graduadas pueden

favorecer ciclos de concentración que mantengan activa la participación sin saturar recursos cognitivos disponibles.

La gamificación también puede producir interferencia cuando recompensas, animaciones o señales competitivas reclaman mayor procesamiento que la tarea académica. Una insignia demasiado llamativa, por ejemplo, puede desplazar recursos destinados a comprender una explicación compleja. La cuestión pedagógica reside en administrar la saliencia. Los estímulos deben funcionar como apoyos para orientar, confirmar avances o recuperar el foco. Cuando cada elemento pretende destacar, la atención pierde jerarquía y el entorno termina fragmentando aquello que buscaba fortalecer cognitivamente.

Desde la neurotecnología, registrar respuestas atencionales permite examinar la relación entre mecánicas gamificadas y momentos de procesamiento. Hung y Li (2024) muestran el potencial del EEG para observar fluctuaciones atencionales durante experiencias educativas. Complementariamente, Watanabe y Naruse (2022) emplean potenciales relacionados con eventos para vincular metas gamificadas y respuesta neural. Ambas aproximaciones abren una vía para evaluar diseños mediante evidencia temporal, siempre que las señales se interpreten junto con desempeño, conducta y propósito pedagógico definido.

Una perspectiva neurocognitiva invita a abandonar la idea de que gamificar equivale a incrementar estímulos. El diseño fecundo distribuye momentos de activación, espera, retroalimentación y esfuerzo, respetando los ritmos propios del procesamiento. La atención necesita variación, pero también continuidad. En consecuencia, mecánicas como progresión, elección, metas parciales o recompensas informativas adquieren valor cuando regulan la inversión cognitiva sin desplazar el sentido de la tarea. El interés pedagógico permanece ligado al aprendizaje, no al artificio lúdico.

Comprender la interacción entre redes atencionales y estímulos gamificados permite avanzar hacia experiencias educativas capaces de modular participación sin convertir la atención en objeto de captura permanente. La neurotecnología aporta instrumentos para reconocer variaciones, mientras la gamificación ofrece recursos de diseño para organizar metas, retroalimentación y saliencia. Su convergencia requiere criterio pedagógico: atender mejor no significa permanecer excitado, sino orientar recursos mentales hacia información, sostener esfuerzo y recuperar el foco cuando la tarea lo demande.

1.3. Sistemas dopaminérgicos, recompensa y construcción de experiencias motivacionales

La motivación educativa depende de circuitos cerebrales que asignan valor a metas, anticipan resultados y actualizan expectativas conforme avanza la experiencia. Dentro de esa arquitectura, la dopamina participa en procesos de aprendizaje por recompensa, selección de acciones y valoración de señales relevantes. Reducir su función al placer conduce a una lectura incompleta. Su actividad guarda relación con predicción, novedad y ajuste conductual, dimensiones especialmente pertinentes cuando una propuesta gamificada organiza avances, decisiones y consecuencias significativas.

Los sistemas dopaminérgicos conectan regiones mesencefálicas con estructuras estriatales, límbicas y prefrontales implicadas en valoración, aprendizaje y control de la conducta. La liberación dopaminérgica responde de manera sensible a diferencias entre resultados esperados y obtenidos, favoreciendo la actualización de asociaciones. En educación, dicha dinámica permite comprender por qué una recompensa adquiere fuerza motivacional cuando informa sobre progreso. El interés pedagógico reside menos en premiar repetidamente que en vincular

expectativa, esfuerzo y retroalimentación con metas comprensibles.

La recompensa gamificada adquiere significado cuando forma parte de una estructura de decisiones y no cuando funciona como adorno añadido. Puntos, insignias o niveles pueden orientar el esfuerzo, aunque su efecto depende del valor que el estudiante atribuya a la actividad. Li et al. (2024) encontraron que la gamificación favorece la motivación intrínseca y las percepciones de autonomía y relación, mientras sus efectos sobre competencia resultaron limitados. La recompensa, por tanto, requiere diseño pedagógico cuidadoso.

La anticipación constituye una pieza relevante del comportamiento motivado. Antes de recibir una recompensa, el cerebro procesa señales que anuncian posibles resultados y organiza respuestas en función de expectativas previas. Tal mecanismo ofrece una clave para diseñar progresiones educativas: una meta cercana puede movilizar esfuerzo cuando permanece alcanzable y conserva incertidumbre. Si el resultado aparece garantizado o excesivamente distante, disminuye su capacidad reguladora. La experiencia motivacional necesita tensión equilibrada entre posibilidad, dificultad y sentido personal.

Watanabe y Naruse (2022) analizaron la relación entre puntuaciones objetivo, motivación intrínseca y respuestas P300 en una aplicación educativa gamificada. Su trabajo muestra que la dificultad asignada a una meta puede asociarse con variaciones neurofisiológicas vinculadas al procesamiento de eventos relevantes. Desde una mirada pedagógica, la aportación resulta significativa: graduar metas exige atender al modo en que el estudiante valora la distancia entre esfuerzo requerido y logro posible, evitando convertir la puntuación en presión externa.

La motivación tampoco puede explicarse mediante recompensas aisladas. Autonomía, pertenencia, dominio percibido

y significado personal intervienen en la persistencia ante una tarea. Li et al. (2024) documentaron efectos favorables de la gamificación sobre autonomía y relación, dimensiones estrechamente vinculadas con motivación intrínseca. Una experiencia bien diseñada permite elegir, reconocer avances y compartir logros sin desplazar el propósito formativo. La recompensa adquiere mayor valor cuando confirma crecimiento, en lugar de convertirse en razón principal para participar.

Los resultados conductuales respaldan también la necesidad de relacionar mecánicas lúdicas con experiencias educativas significativas. Alsadoon et al. (2022) observaron efectos favorables de un ambiente gamificado sobre rendimiento, motivación y satisfacción estudiantil. Tales resultados invitan a considerar la recompensa dentro de una arquitectura amplia, donde retroalimentación, metas y participación se refuerzan mutuamente. No basta acumular incentivos; conviene organizar experiencias donde cada avance comunique información útil y mantenga una relación reconocible con el aprendizaje perseguido activo.

Desde la perspectiva neurocognitiva, la incertidumbre moderada puede conferir relevancia a una señal de recompensa, pero convertirla en mecanismo constante de captación plantea riesgos pedagógicos. Una secuencia dominada por premios impredecibles podría desplazar la atención desde el contenido hacia la obtención del incentivo. La neurotecnología educativa necesita distinguir activación motivacional de aprendizaje valioso. Registrar respuestas cerebrales aporta evidencia complementaria, aunque ninguna señal neuronal determina por sí misma la calidad educativa de una experiencia gamificada integral.

Construir experiencias motivacionales requiere considerar diferencias individuales en sensibilidad a recompensas, expectativas de competencia y experiencias previas. Una misma mecánica puede resultar estimulante para un estudiante e

indiferente para otro. De ahí que la personalización no deba perseguir máximos permanentes de activación, sino oportunidades ajustadas para sostener esfuerzo y agencia. La regulación de metas, retroalimentación y elecciones puede favorecer una participación autónoma, donde el sistema de recompensas acompañe el aprendizaje sin apropiarse de su significado.

La relación entre dopamina, recompensa y motivación permite comprender la gamificación como una arquitectura de expectativas antes que como distribución de premios. Diseñar para motivar implica organizar metas alcanzables, retroalimentación, autonomía y oportunidades de progreso que otorguen sentido al esfuerzo. La neurotecnología puede aportar indicadores sobre valoración y respuesta ante eventos relevantes, pero la decisión pedagógica permanece guiada por propósitos. El aprendizaje gana profundidad cuando querer avanzar y comprender dejan de transitar por caminos separados.

1.4. Carga cognitiva y procesamiento de información en escenarios de aprendizaje interactivo

El aprendizaje interactivo exige distribuir recursos mentales entre comprender contenidos, mantener información activa, tomar decisiones y responder a señales de la interfaz. La carga cognitiva adquiere relevancia cuando tales operaciones compiten por una capacidad de procesamiento limitada. Una actividad digital puede facilitar la comprensión o dificultarla según organice sus demandas. No toda exigencia resulta perjudicial: cierto esfuerzo favorece elaboración y aprendizaje. El problema aparece cuando elementos secundarios consumen recursos necesarios para construir representaciones mentales coherentes.

La memoria de trabajo ocupa una posición central en dicha dinámica, pues mantiene y transforma temporalmente información necesaria para resolver tareas. Su capacidad limitada obliga a seleccionar qué datos reciben procesamiento prioritario. En

escenarios interactivos, instrucciones, gráficos, reglas, mensajes y decisiones pueden coincidir durante intervalos breves. Cuando la interfaz distribuye información sin jerarquía, aumenta la competencia cognitiva. En cambio, una secuencia organizada permite integrar nuevos elementos con conocimientos previos sin imponer demandas innecesarias al procesamiento activo.

Las mecánicas gamificadas añaden capas de interacción capaces de modificar el esfuerzo mental requerido. Scharinger et al. (2023) examinaron una tarea de memoria de trabajo n-back gamificada mediante EEG y seguimiento ocular, comparando indicadores conductuales y psicofisiológicos. Su investigación permite advertir que incorporar componentes lúdicos no garantiza beneficios equivalentes en todos los indicadores. El diseño necesita valorar si cada elemento facilita el compromiso con la tarea o agrega procesamiento accesorio que compite con la operación cognitiva principal.

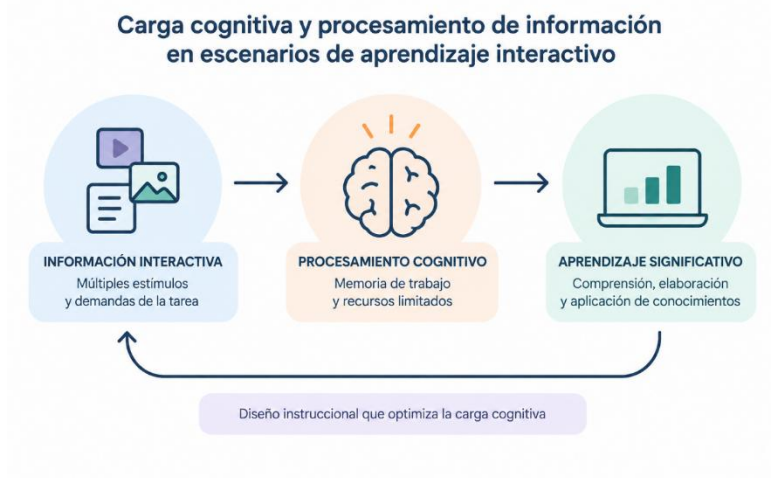
La carga cognitiva tampoco permanece constante durante una sesión. Cambia conforme aumenta la familiaridad, se automatizan procedimientos o aparecen demandas novedosas. Una regla que al inicio requiere atención consciente puede volverse manejable después de varios ensayos. Tal variación temporal resulta relevante para el diseño adaptativo. Presentar demasiadas instrucciones simultáneas al comienzo puede saturar recursos; introducirlas progresivamente permite construir esquemas funcionales. La interactividad educativa gana eficacia cuando acompaña información, acción y retroalimentación con el dominio alcanzado.

Sailer y Homner (2020), mediante un metaanálisis sobre gamificación del aprendizaje, identificaron efectos favorables en resultados cognitivos, motivacionales y conductuales, aunque con variaciones vinculadas a condiciones de diseño. Tal evidencia ayuda a comprender que la eficacia no procede automáticamente de puntos, insignias o narrativas. Cada recurso interactivo modifica las

demandas de procesamiento. Una mecánica pedagógicamente pertinente orienta la actividad mental hacia relaciones significativas; una mecánica ornamental puede dividir atención y aumentar esfuerzo sin aportar comprensión adicional.

Figura 3

Procesamiento cognitivo en entornos interactivos



El procesamiento eficiente requiere también coordinar canales perceptivos. Texto, imagen, audio y animación pueden complementarse cuando distribuyen información de manera funcional, pero generan interferencia si repiten, contradicen o presentan simultáneamente demasiados datos. La interactividad añade decisiones que amplían dicha complejidad. Elegir una ruta, manipular un objeto o responder una pregunta demanda recursos ejecutivos. Por ello, diseñar experiencias digitales implica decidir qué información debe permanecer visible, cuál puede retirarse y cuándo conviene solicitar una acción del estudiante.

La relación entre gamificación y aprendizaje ha mostrado resultados positivos en múltiples investigaciones, aunque su magnitud depende de las características de las intervenciones. Li et

al. (2023) encontraron, mediante metaanálisis, efectos favorables de estrategias gamificadas sobre resultados educativos. Una lectura desde la carga cognitiva permite matizar tales beneficios: las mecánicas pueden estructurar metas y ofrecer retroalimentación, pero requieren integración funcional. El valor aparece cuando ayudan a organizar el procesamiento en lugar de multiplicar demandas perceptivas simultáneas.

La neurotecnología ofrece recursos para estudiar variaciones del esfuerzo mental durante tareas interactivas mediante señales electroencefalográficas, movimientos oculares y medidas conductuales. Scharinger et al. (2023) combinaron EEG y seguimiento ocular al analizar una tarea gamificada de memoria de trabajo, mostrando el interés de integrar fuentes complementarias. Tales registros permiten aproximarse a momentos de mayor exigencia, aunque requieren interpretación prudente. Ningún indicador aislado traduce directamente la complejidad del procesamiento ni determina la calidad pedagógica alcanzada.

Regular la carga cognitiva no equivale a simplificar permanentemente las actividades. Aprender requiere esfuerzo, comparación, recuperación y reorganización de conocimientos. Una experiencia demasiado fácil puede reducir elaboración, mientras una demanda excesiva puede interrumpir la construcción de significado. El diseño interactivo necesita encontrar zonas de exigencia productiva donde el estudiante disponga de recursos para avanzar. Apoyos graduales, segmentación, retroalimentación o reducción progresiva de ayudas permiten administrar dificultad sin eliminar la actividad intelectual que sostiene aprendizajes duraderos.

La arquitectura neurocognitiva del aprendizaje interactivo requiere equilibrar capacidad limitada, complejidad de la tarea y riqueza de la experiencia digital. Gamificar con criterio implica decidir qué estímulos merecen procesamiento, qué acciones favorecen elaboración y qué componentes pueden convertirse en

ruido. La carga cognitiva ofrece un marco para ordenar dichas decisiones sin confundir participación con aprendizaje. Desde esa base, la neurotecnología puede contribuir a diseñar experiencias donde interacción, esfuerzo y comprensión mantengan una relación pedagógicamente productiva y sostenible.

1.5. Neuroplasticidad y consolidación del aprendizaje mediado por experiencias digitales

La neuroplasticidad expresa la capacidad del sistema nervioso para modificar patrones funcionales y conexiones en respuesta a la experiencia, la práctica y las demandas del aprendizaje. En entornos digitales, dicha propiedad adquiere relevancia porque la interacción reiterada puede organizar secuencias de percepción, decisión y respuesta con elevada precisión temporal. Aprender no consiste en acumular exposiciones. Requiere actividad significativa, recuperación de información y oportunidades para reorganizar conocimientos mediante experiencias suficientemente variadas que favorezcan cambios funcionales duraderos.

La consolidación transforma representaciones inicialmente frágiles en aprendizajes con mayor estabilidad y disponibilidad futura. Tal proceso no ocurre de manera instantánea ni depende exclusivamente del momento de adquisición. La práctica espaciada, la recuperación activa, el descanso y la reactivación posterior contribuyen a fortalecer trazas de memoria. Una experiencia digital puede aprovechar dichos principios mediante secuencias distribuidas, actividades breves y retornos estratégicos al contenido, evitando que la repetición mecánica sustituya la elaboración necesaria para aprender profundamente.

Las experiencias digitales inmersivas amplían las posibilidades de aprendizaje al combinar participación perceptiva, acción y representación espacial. Coban et al. (2022), mediante un metaanálisis sobre realidad virtual inmersiva, encontraron efectos

favorables en resultados de aprendizaje, aunque condicionados por características metodológicas y de diseño. La plasticidad asociada con tales experiencias no deriva de la tecnología por sí misma. Depende de las operaciones cognitivas movilizadas, la práctica realizada y las oportunidades posteriores para recuperar y aplicar lo aprendido.

La repetición adquiere valor neuroeducativo cuando incorpora variación y exige reconstruir conocimientos en lugar de reproducir respuestas idénticas. Cada recuperación puede fortalecer rutas de acceso a la información, mientras la aplicación en situaciones diferentes favorece representaciones flexibles. Los entornos digitales facilitan dicha organización mediante niveles, simulaciones y problemas progresivos. Bien diseñadas, tales experiencias permiten regresar sobre un conocimiento desde ángulos distintos, creando condiciones para que la práctica contribuya a estabilizar aprendizajes sin convertirlos en hábitos rígidos.

Anguera et al. (2023) evaluaron un videojuego que integraba demandas cognitivas y físicas en población infantil, encontrando mejoras vinculadas con procesos atencionales tras la intervención. Aunque dichos resultados no equivalen directamente a demostrar cambios estructurales, muestran el potencial del entrenamiento digital organizado para producir modificaciones funcionales medibles. La distinción resulta importante: hablar de neuroplasticidad exige prudencia. Una mejora conductual puede reflejar aprendizaje, adaptación estratégica o transferencia, sin autorizar automáticamente afirmaciones sobre reorganización cerebral permanente.

La consolidación también depende de intervalos donde la actividad disminuye y las representaciones adquiridas pueden estabilizarse. Por ello, una experiencia digital pedagógicamente cuidada no necesita mantener interacción permanente. Pausas, cierres parciales y retornos espaciados forman parte del

aprendizaje. La lógica de disponibilidad continua propia de muchas plataformas puede entrar en tensión con tales ritmos. Diseñar desde principios neurocognitivos implica reconocer que abandonar temporalmente una tarea puede favorecer procesos posteriores de recuperación, integración y fortalecimiento de la memoria.

Privitera y Du (2022) señalan que el avance de la neurotecnología educativa requiere vincular innovación técnica con preguntas pedagógicas relevantes y criterios responsables de aplicación. Tal planteamiento resulta especialmente pertinente al estudiar plasticidad, terreno donde interpretaciones exageradas pueden atribuir a dispositivos capacidades transformadoras carentes de evidencia suficiente. Los registros neurofisiológicos pueden acompañar investigaciones longitudinales, pero necesitan relacionarse con desempeño y transferencia para establecer si una modificación observada posee significado real dentro del aprendizaje educativo sostenido.

La transferencia constituye una prueba exigente para valorar la consolidación. Recordar una respuesta dentro de la misma interfaz demuestra menos que emplear un conocimiento ante una situación nueva. Las experiencias digitales pueden favorecer transferencia cuando alternan formatos, modifican condiciones y solicitan decisiones que obligan a reconstruir relaciones conceptuales. La variabilidad debe conservar coherencia pedagógica. Cambiar estímulos por entretenimiento aporta poco; variar problemas, perspectivas y demandas puede fortalecer representaciones capaces de mantenerse disponibles más allá de la plataforma utilizada.

Desde una perspectiva temporal amplia, la neuroplasticidad invita a pensar el aprendizaje como proceso acumulativo de reorganización, no como efecto inmediato de una sesión atractiva. La frecuencia de práctica, la calidad de la retroalimentación y las oportunidades de recuperación interactúan durante semanas o meses. Las tecnologías digitales ofrecen

trazabilidad para observar dichas trayectorias y ajustar experiencias. Sin embargo, medir progresos requiere distinguir familiaridad con la plataforma, dominio procedimental y comprensión transferible, evitando interpretar toda mejora como aprendizaje consolidado.

La relación entre neuroplasticidad, consolidación y mediación digital completa una pieza central de la arquitectura neurocognitiva planteada en el capítulo. Atención, motivación y regulación de la carga adquieren sentido formativo cuando contribuyen a cambios que permanecen y pueden reutilizarse. La tecnología ofrece condiciones para distribuir práctica, diversificar experiencias y registrar progresos, pero la permanencia depende de procesos humanos de reorganización. Potenciar aprendizaje implica diseñar experiencias que puedan dejar huellas funcionales sin confundir intensidad momentánea con transformación duradera.

1.6. Biomarcadores neurocognitivos para interpretar atención, emoción y compromiso académico

Los biomarcadores neurocognitivos ofrecen indicadores fisiológicos vinculados con variaciones de atención, activación emocional y compromiso durante experiencias educativas. Su interés reside en complementar conductas observables y resultados académicos mediante registros sensibles a cambios temporales del procesamiento. Electroencefalografía, potenciales relacionados con eventos y seguimiento ocular permiten aproximarse a fenómenos que no siempre aparecen en respuestas explícitas. Sin embargo, una señal adquiere significado educativo cuando se interpreta mediante relaciones convergentes entre actividad fisiológica, desempeño, características de la tarea y participación.

Entre las herramientas disponibles, el EEG destaca por registrar oscilaciones eléctricas cerebrales con elevada resolución temporal. Hung y Li (2024) emplearon dicha técnica para analizar

niveles de atención en universitarios durante una asignatura combinada de informática, mostrando variaciones asociadas con diferentes momentos educativos. La utilidad del registro reside precisamente en captar fluctuaciones que una calificación global difícilmente revela. Aun con tal ventaja, interpretar atención exige evitar equivalencias automáticas entre determinada banda de frecuencia y estado psicológico único.

Los potenciales relacionados con eventos permiten estudiar respuestas cerebrales vinculadas temporalmente con estímulos específicos. Entre ellos, el componente P300 ha recibido interés por su asociación con atención, valoración y relevancia atribuida a determinados acontecimientos. Watanabe y Naruse (2022) utilizaron dicho indicador al examinar puntuaciones objetivo dentro de una aplicación gamificada y su relación con motivación intrínseca. La aproximación permite analizar cuándo una meta adquiere significado para el participante, sin convertir la amplitud neural en medida directa de motivación.

La emoción añade otra capa interpretativa porque modifica la valoración de una actividad, la persistencia y la disponibilidad de recursos cognitivos. Sin embargo, reconocer estados afectivos mediante señales fisiológicas requiere cautela. Activación elevada puede acompañar entusiasmo, tensión o esfuerzo, mientras respuestas semejantes admiten significados distintos según la tarea. Por ello, conviene combinar registros cerebrales con comportamiento, autoinformes y desempeño. La convergencia metodológica reduce inferencias apresuradas y permite comprender patrones afectivos vinculados con experiencias educativas concretas.

El seguimiento ocular aporta información complementaria sobre fijaciones, desplazamientos de la mirada y distribución de recursos visuales. Scharinger et al. (2023) combinaron EEG y eye tracking para estudiar una tarea n-back gamificada, integrando medidas fisiológicas y oculares con indicadores de ejecución. Tal

estrategia evidencia el valor de observar simultáneamente diferentes dimensiones del procesamiento. Una fijación prolongada puede expresar dificultad o interés; acompañada por otras señales, adquiere mayor capacidad explicativa respecto de la interacción del estudiante.

El compromiso académico presenta una dificultad adicional porque reúne dimensiones conductuales, cognitivas y afectivas que no pueden condensarse en un marcador fisiológico aislado. Permanecer frente a una pantalla tampoco equivale necesariamente a participar intelectualmente. Los biomarcadores permiten identificar cambios de activación o atención, pero necesitan relacionarse con decisiones, persistencia y calidad del desempeño. Desde una mirada neuroeducativa, compromiso significa inversión sostenida de recursos hacia una meta formativa, acompañada por participación significativa y regulación de la propia actividad.

La combinación de indicadores permite construir perfiles temporales más ricos sin pretender leer pensamientos ni emociones de manera transparente. Scharinger et al. (2023) muestran el potencial de integrar EEG, seguimiento ocular y desempeño para examinar efectos de la gamificación sobre una tarea cognitiva. Tal triangulación resulta valiosa porque cada medida responde a propiedades diferentes. Cuando varias fuentes convergen, aumenta la confianza interpretativa; cuando divergen, la discrepancia puede revelar procesos que una medición unidimensional habría dejado inadvertidos durante la experiencia.

La interpretación de biomarcadores demanda además atender a variabilidad individual, calidad de señal y condiciones de registro. Fatiga, movimiento, diferencias anatómicas o familiaridad con dispositivos pueden alterar las mediciones. Hung y Li (2024) evidencian el interés del EEG aplicado en escenarios educativos, aunque trasladar registros neurofisiológicos fuera del laboratorio requiere criterios metodológicos rigurosos. La promesa de obtener

datos más cercanos a la actividad académica debe acompañarse de procedimientos que distingan cambios cognitivos relevantes de artefactos técnicos circunstanciales.

En aplicaciones gamificadas, los biomarcadores pueden ayudar a valorar si metas, retroalimentaciones o cambios de dificultad producen respuestas coherentes con la intención pedagógica. Watanabe y Naruse (2022) vincularon P300 y niveles de puntuación objetivo, aportando una vía para estudiar la relevancia neural de metas educativas. El propósito no debería orientarse a maximizar activación cerebral, sino a reconocer patrones compatibles con participación significativa. Una respuesta intensa carece de valor formativo cuando no acompaña comprensión, persistencia o aprendizaje transferible.

Integrar biomarcadores neurocognitivos en educación requiere comprenderlos como evidencias parciales dentro de una arquitectura interpretativa amplia. Atención, emoción y compromiso mantienen relaciones dinámicas que ninguna señal puede representar por completo. Su mayor aporte aparece cuando complementan desempeño, conducta y experiencia declarada, ofreciendo ventanas temporales sobre procesos difíciles de observar directamente. Bajo tal criterio, la neurotecnología puede enriquecer la evaluación de experiencias digitales sin reducir al estudiante a datos fisiológicos ni convertir mediciones probabilísticas en certezas pedagógicas.

Tabla 1

Arquitectura neurocognitiva del aprendizaje y aportes de la neurotecnología educativa

Eje neuroeducativo	Aporte al aprendizaje mediado por tecnología y gamificación
Neurotecnología educativa y cartografía cognitiva	Permite relacionar señales neurofisiológicas, conducta y desempeño para construir representaciones dinámicas de los procesos cognitivos. Su valor pedagógico reside en interpretar

Eje neuroeducativo	Aporte al aprendizaje mediado por tecnología y gamificación
	variaciones durante la actividad digital sin reducir la experiencia del estudiante a indicadores aislados.
Redes neuronales de la atención	La interacción entre redes atencionales y estímulos gamificados permite comprender la orientación, mantenimiento y recuperación del foco. Metas, señales, retroalimentación y cambios perceptivos adquieren valor cuando conducen los recursos atencionales hacia operaciones relevantes para aprender.
Sistemas dopaminérgicos y recompensa	Los circuitos vinculados con recompensa participan en la valoración de metas, anticipación de resultados y actualización de expectativas. La gamificación puede favorecer experiencias motivacionales cuando autonomía, progreso, esfuerzo y retroalimentación mantienen una relación significativa con los propósitos formativos.
Carga cognitiva y procesamiento de información	La capacidad limitada de la memoria de trabajo exige administrar cuidadosamente información, estímulos y decisiones. Una experiencia interactiva eficaz distribuye las demandas mentales, reduce interferencias accesorias y preserva el esfuerzo intelectual necesario para comprender, elaborar y aplicar conocimientos.
Neuroplasticidad y consolidación	La práctica distribuida, recuperación activa, variabilidad y transferencia favorecen aprendizajes con mayor permanencia. Las experiencias digitales pueden organizar oportunidades reiteradas de procesamiento y aplicación, siempre que la intensidad de la

Eje neuroeducativo	Aporte al aprendizaje mediado por tecnología y gamificación
Biomarcadores neurocognitivos	interacción no se confunda con transformación neurocognitiva duradera. EEG, potenciales relacionados con eventos y seguimiento ocular aportan indicadores para interpretar variaciones vinculadas con atención, emoción y compromiso académico. Su lectura requiere triangulación con desempeño, conducta y experiencia subjetiva, evitando atribuir significado pedagógico determinista a una señal fisiológica aislada.
Integración neurocognitiva y diseño educativo	La articulación entre atención, motivación, carga cognitiva, consolidación y medición neurofisiológica permite fundamentar experiencias gamificadas centradas en el aprendizaje. La neurotecnología adquiere mayor pertinencia cuando orienta decisiones pedagógicas respetuosas de la variabilidad, autonomía y complejidad del estudiante.

Nota. La tabla organiza los principales componentes desarrollados en el capítulo y sus relaciones con el diseño de experiencias educativas digitales y gamificadas.

Capítulo II

Gamificación neuroadaptativa y diseño de experiencias educativas

La gamificación neuroadaptativa abre una vía para pensar el diseño educativo como una relación dinámica entre actividad, respuesta humana y regulación tecnológica. Ya no basta con incorporar puntos, insignias o niveles para despertar interés; importa comprender la experiencia que producen y las condiciones bajo las cuales adquieren valor pedagógico. La atención, la motivación, la memoria y la emoción participan de manera entrelazada, mientras los sistemas digitales ofrecen posibilidades crecientes para reconocer variaciones y responder con mayor sensibilidad.

En esa dirección, la personalización adquiere un significado que rebasa la selección de preferencias superficiales. Xiao y Hew (2024) encontraron que la gamificación personalizada puede generar resultados motivacionales, conductuales y cognitivos favorables frente a propuestas uniformes en aprendizaje completamente en línea. El hallazgo conduce hacia una cuestión de diseño más profunda: reconocer diferencias entre estudiantes exige construir experiencias capaces de aprender de la interacción, conservar flexibilidad y modificar determinadas decisiones sin convertir las particularidades individuales en categorías permanentes.

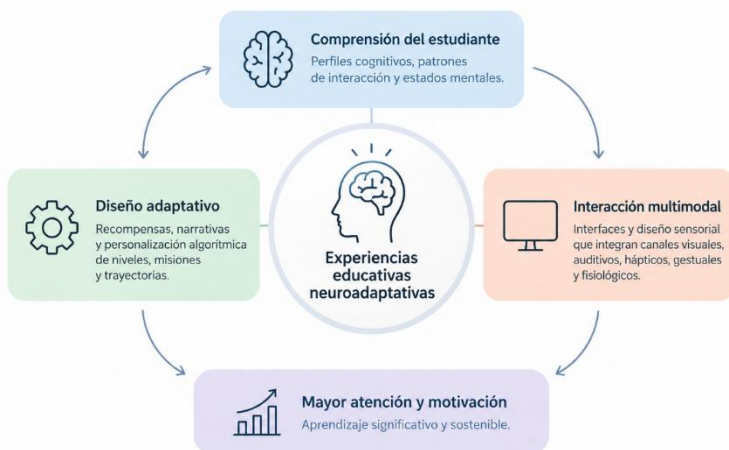
La experiencia gamificada comienza a adquirir mayor riqueza cuando las decisiones pedagógicas dialogan con señales relacionadas con la actividad cognitiva. Atención fluctuante, esfuerzo, persistencia o fatiga forman parte de una dinámica que cambia durante la participación. Anguera et al. (2023) documentaron mejoras vinculadas con la atención mediante una intervención digital que combinaba componentes cognitivos y físicos. Resultados semejantes amplían la discusión hacia diseños capaces de acompañar variaciones funcionales mientras preservan continuidad, propósito educativo y autonomía personal.

Dentro de dicha relación, recompensa y retroalimentación requieren una lectura cuidadosa. Watanabe y Naruse (2022)

relacionaron respuestas P300 con preferencias vinculadas a niveles de puntuación objetivo, aportando evidencia sobre posibles conexiones entre procesamiento neural y configuración motivacional. El interés pedagógico no reside en convertir señales cerebrales en instrucciones automáticas, sino en comprender mejor la respuesta ante metas y resultados. Cada incentivo adquiere significado mediante expectativas, esfuerzo previo, percepción de progreso y relevancia atribuida por quien aprende.

Figura 4

Arquitectura de la experiencia neuroadaptativa



También las narrativas transforman la manera de organizar la experiencia. Una secuencia con propósito puede enlazar acontecimientos, decisiones y contenidos dentro de una estructura que favorezca continuidad perceptiva y elaboración significativa. Vidanaralage et al. (2022) abordaron el aprendizaje gamificado basado en video mediante análisis de esquemas y emociones apoyados por inteligencia artificial. Tal aproximación permite observar la experiencia educativa desde varias dimensiones simultáneas, donde organización cognitiva y respuesta afectiva participan en la construcción de significados duraderos.

Sin embargo, añadir componentes lúdicos no garantiza beneficios cognitivos proporcionales. Scharinger et al. (2023), mediante registros electroencefalográficos y seguimiento ocular durante una tarea de memoria de trabajo, observaron modificaciones en indicadores fisiológicos y experiencia subjetiva sin encontrar mejoras equivalentes en rendimiento. La advertencia resulta pertinente: un diseño atractivo puede incrementar implicación perceptiva y, al mismo tiempo, añadir demandas innecesarias. Por ello, la neuroadaptación necesita distinguir cuidadosamente entre estimulación productiva, carga accesoria y participación genuinamente orientada al aprendizaje.

La adaptación gana profundidad cuando pasa de reaccionar ante eventos aislados a organizar trayectorias educativas mediante información acumulada. González-González et al. (2023) propusieron una arquitectura reactiva de gamificación personalizada apoyada en modelos de usuario y componentes inteligentes. Desde tal perspectiva, niveles, misiones y rutas pueden convertirse en estructuras revisables que responden al progreso sin clausurar alternativas. La inteligencia algorítmica encuentra valor pedagógico cuando amplía oportunidades, explica sus decisiones y deja margen para elecciones humanas significativas.

A la vez, la dimensión sensorial amplía las posibilidades de comunicación entre estudiante y sistema. Ouhaichi et al. (2023) identificaron una expansión de las analíticas multimodales sustentadas en fuentes conductuales, fisiológicas y ambientales. Pantallas, sonidos, movimientos, gestos y registros corporales conforman una red informativa capaz de enriquecer la interpretación de la actividad. La abundancia de señales, sin embargo, exige jerarquía: percibir más datos carece de valor cuando no existe una pregunta pedagógica que justifique su captura.

Los dispositivos vestibles profundizan dicha discusión al acercar la medición a situaciones ordinarias de aprendizaje. Khosravi et al. (2022) señalaron posibilidades de los sensores

portátiles para apoyar experiencias educativas mediante información fisiológica y conductual. Su incorporación demanda cautela metodológica, transparencia y respeto por la privacidad. Una experiencia de alta implicación no necesita vigilar cada variación corporal; requiere seleccionar señales pertinentes, interpretarlas con límites claros y devolver al estudiante beneficios comprensibles derivados de su utilización educativa.

Bajo dicha mirada, el capítulo aborda la gamificación neuroadaptativa como una arquitectura educativa donde perfiles cognitivos, recompensas, narrativas, estados mentales, algoritmos e interfaces multimodales mantienen relaciones recíprocas. Zourmpakis et al. (2023) mostraron que adaptar elementos gamificados puede modificar dimensiones motivacionales en educación científica, reforzando la pertinencia de diseños sensibles a diferencias individuales. La cuestión de fondo permanece pedagógica: construir experiencias capaces de responder al estudiante sin reducir su aprendizaje a datos, predicciones o estímulos programados.

2.1. Arquitecturas de gamificación basadas en perfiles cognitivos y patrones de interacción

Las arquitecturas de gamificación basadas en perfiles cognitivos parten de una premisa: la experiencia educativa gana precisión cuando reconoce diferencias en atención, procesamiento, autorregulación y preferencias de interacción. Su diseño requiere representar al estudiante mediante variables que puedan actualizarse durante la actividad, evitando clasificaciones rígidas. El perfil opera como una hipótesis dinámica que orienta decisiones sobre recompensas, ritmo, retroalimentación y dificultad. La arquitectura, por tanto, convierte señales dispersas en decisiones pedagógicas susceptibles de revisión continua.

Una arquitectura neuroadaptativa necesita distinguir entre rasgos relativamente persistentes y estados que cambian durante

una sesión. Los primeros pueden orientar preferencias iniciales; los segundos permiten ajustar la experiencia ante variaciones de esfuerzo, desempeño o participación. Tal distinción evita confundir una conducta circunstancial con una característica estable del aprendiz. Desde una perspectiva de diseño, el sistema debe conservar memoria de interacciones previas y, al mismo tiempo, conceder mayor peso a evidencias recientes cuando revelan transformaciones significativas.

La personalización adquiere valor cuando los datos del perfil modifican decisiones concretas y no quedan reducidos a etiquetas descriptivas. Xiao y Hew (2024) encontraron mejores resultados motivacionales, conductuales y cognitivos mediante gamificación personalizada frente a esquemas uniformes. Ese hallazgo respalda arquitecturas capaces de vincular diferencias individuales con configuraciones diferenciadas de elementos lúdicos. El interés reside en establecer reglas de correspondencia flexibles, capaces de aprender de la respuesta del estudiante sin convertir la adaptación en determinismo.

Los patrones de interacción aportan una capa complementaria porque revelan maneras de relacionarse con tareas, recursos y mecanismos lúdicos. Frecuencia de acceso, persistencia ante errores, secuencias de elección, tiempos de respuesta o abandono temporal pueden alimentar modelos de usuario con granularidad. González-González et al. (2023) proponen un modelo abierto estudiante-jugador articulado con aprendizaje automático y analíticas de interacción. Tal enfoque favorece actualizaciones constantes y permite que la personalización responda a conductas observables durante el aprendizaje.

Desde el punto de vista arquitectónico, conviene separar captura de datos, modelado del usuario, motor adaptativo y presentación de elementos gamificados. La modularidad facilita revisar cada componente sin alterar la experiencia educativa.

También permite incorporar nueva información conforme madura la plataforma. Un motor adaptativo puede recibir indicadores cognitivos y conductuales, contrastarlos con objetivos pedagógicos y seleccionar intervenciones pertinentes. La decisión deja de depender de una regla fija y pasa a una lógica probabilística.

La adaptación requiere mecanismos de retroalimentación que permitan verificar si una intervención produce el efecto esperado. Una insignia, una narrativa de progreso o una meta cooperativa carecen de valor universal; su pertinencia depende de la respuesta registrada. Zourmpakis et al. (2023) muestran que la adaptación de elementos de juego puede incidir en la motivación en la educación científica. La arquitectura debe registrar la respuesta registrada y reajustar decisiones posteriores, creando ciclos iterativos entre intervención, evidencia y actualización.

Un riesgo aparece cuando el perfil cognitivo se trata como identidad permanente. Las personas modifican estrategias, desarrollan habilidades y responden distinto según la tarea, la fatiga o la familiaridad con una plataforma. Por ello, una arquitectura responsable debe admitir incertidumbre, conservar trazabilidad de sus inferencias y permitir correcciones. La personalización gana calidad progresiva cuando reconoce que sus modelos son aproximaciones operativas. Esa cautela reduce decisiones excesivamente prescriptivas y preserva un margen suficiente para la agencia del estudiante.

La dimensión temporal resulta especialmente relevante en experiencias prolongadas. Un patrón detectado durante las primeras sesiones puede perder valor después de semanas de práctica. Por ello, los modelos necesitan ponderar la antigüedad de los datos y detectar cambios de tendencia. Xiao y Hew (2024) vinculan la personalización con mejoras en emociones, motivación y resultados cognitivos. Una arquitectura sensible al tiempo puede aprovechar mejor tales relaciones sin asumir que las preferencias permanecen invariables durante el proceso formativo.

La interacción multicanal amplía la arquitectura al distribuir la experiencia entre plataformas, agentes conversacionales y recursos educativos. González-González et al. (2023) plantean una arquitectura reactiva donde el modelo del estudiante puede nutrirse de fuentes y ofrecer retroalimentación personalizada mediante diálogos. Tal planteamiento resulta pertinente para sistemas neuroadaptativos, pues evita concentrar la personalización en una interfaz única. La continuidad depende entonces de mantener coherencia entre decisiones adaptativas, historial de actividad y objetivos pedagógicos compartidos entre componentes.

En conjunto, una arquitectura basada en perfiles cognitivos y patrones de interacción debe entender la personalización como un proceso de inferencia revisable, no como asignación definitiva de mecánicas. Su calidad depende de integrar datos pertinentes, modelos transparentes, reglas adaptativas flexibles y evaluación continua de efectos. Zourmpakis et al. (2023) destacan la relevancia de adaptar elementos lúdicos a características del alumnado. La gamificación neuroadaptativa adquiere pleno sentido cuando acompaña variaciones cognitivas reales y cambiantes del aprendizaje.

2.2. Mecánicas de recompensa y retroalimentación desde una perspectiva neurocognitiva

Las mecánicas de recompensa y retroalimentación adquieren relevancia neurocognitiva cuando se entienden como señales capaces de orientar atención, expectativa y valoración del desempeño. Una recompensa no actúa de manera uniforme: su efecto depende del momento, la dificultad percibida y la relación entre esfuerzo y resultado. En experiencias gamificadas, puntos, insignias o mensajes funcionan mejor cuando aportan información. El interés pedagógico reside en regular dichas señales para

favorecer compromiso sin desplazar la motivación hacia incentivos externos.

Figura 5
Circuito neurocognitivo de recompensa y retroalimentación



Desde una perspectiva cerebral, recibir retroalimentación implica comparar resultados obtenidos con expectativas previas, proceso vinculado con mecanismos de aprendizaje y actualización de predicciones. La respuesta del estudiante ante un acierto, un error o una meta alcanzada puede variar según la relevancia atribuida al evento. Watanabe y Naruse (2022) observaron que la amplitud del componente P300 guardaba relación con preferencias subjetivas por niveles de meta, aportando una vía para estimar

configuraciones motivacionalmente pertinentes en entornos gamificados.

La relación entre recompensa y dificultad merece atención. Metas demasiado accesibles pueden reducir interés, mientras exigencias desproporcionadas favorecen frustración o abandono. Entre ambos extremos existe una franja variable, dependiente de capacidades y preferencias individuales. Watanabe y Naruse (2022) vincularon el P300 con valoraciones motivacionales asociadas a niveles de puntuación objetivo, antes que con la dificultad objetiva de tales niveles. El hallazgo refuerza la conveniencia de ajustar metas atendiendo a respuestas individuales, no mediante umbrales idénticos.

La retroalimentación inmediata cumple una función distinta de la recompensa acumulativa. Su valor radica en informar al estudiante acerca de la relación entre acción y consecuencia mientras la representación de la tarea permanece activa. Mensajes, indicadores de progreso o señales audiovisuales pueden facilitar correcciones cuando ofrecen información interpretable. Desde la neurocognición, importa tanto la velocidad de entrega como su pertinencia: una respuesta rápida pero ambigua puede captar atención sin promover comprensión ni regulación del desempeño posterior.

Las insignias permiten observar bien la diferencia entre reconocimiento simbólico y simple acumulación. López-Jiménez et al. (2021), mediante tres estudios experimentales en aprendizaje de anatomía, encontraron mejores resultados académicos con sistemas de respuesta gamificados, particularmente cuando incorporaban clasificación e insignias. El efecto invita a considerar que una recompensa visible puede adquirir significado cuando representa progreso reconocible. Su diseño requiere vincularla con logros comprensibles, evitando convertirla en ornamento separado de la actividad cognitiva que pretende acompañar.

Conviene distinguir entre recompensas que informan y recompensas que controlan. Cuando un elemento gamificado comunica avance, dominio o pertenencia, puede fortalecer razones internas para continuar. Si opera como presión, la experiencia corre el riesgo de orientar la conducta hacia la obtención mecánica del incentivo. Li et al. (2024) hallaron un efecto positivo de la gamificación sobre motivación intrínseca, junto con efectos favorables sobre autonomía y vinculación social, aunque el impacto sobre competencia percibida resultó limitado.

La competencia percibida merece una lectura porque puntos elevados o posiciones destacadas no garantizan sensación de dominio. Li et al. (2024) mostraron que el efecto de la gamificación sobre dicha necesidad fue reducido frente a los resultados observados en autonomía y relación social. Una retroalimentación pedagógicamente valiosa debe explicar avances, señalar márgenes de mejora y ofrecer oportunidades de corrección. Reconocer el progreso tiene mayor profundidad cuando el estudiante comprende qué aprendió y qué puede perfeccionar.

La temporalidad de las recompensas modifica su significado. Una secuencia saturada de estímulos puede producir habituación, reducir novedad y volver predecible aquello que captaba atención. Por el contrario, intervalos excesivos pueden debilitar la asociación entre desempeño y reconocimiento. El diseño neuroadaptativo necesita modular frecuencia, intensidad y modalidad según evidencias de participación. No se trata de premiar cada acción, sino de construir una economía de señales donde la retroalimentación conserve valor informativo y acompañe decisiones relevantes.

En sistemas que registran indicadores neurofisiológicos, la recompensa puede ajustarse mediante señales relacionadas con atención, preferencia o procesamiento del resultado. Watanabe y Naruse (2022) plantearon que el P300 podría contribuir a identificar niveles de meta para la motivación intrínseca. Tal posibilidad

desplaza el diseño desde parámetros predeterminados hacia calibraciones sensibles a diferencias personales. Con ello, la señal neural requiere interpretación prudente, contraste conductual y criterios que impidan reducir la experiencia educativa a una medición fisiológica.

Una perspectiva neurocognitiva de recompensas y retroalimentación conduce hacia diseños donde cada señal cumple una función pedagógica. El valor no reside en multiplicar estímulos, sino en articular metas, información de desempeño, autonomía y reconocimiento dentro de una experiencia regulada. Los hallazgos de López-Jiménez et al. (2021) y Li et al. (2024) respaldan beneficios, aunque revelan límites. La arquitectura neuroadaptativa debe aprender cuándo reforzar, cuándo informar y cuándo permitir que la propia actividad sostenga el interés.

2.3. Narrativas gamificadas y activación de procesos atencionales, emocionales y mnésicos

Las narrativas gamificadas organizan la experiencia educativa mediante secuencias de acontecimientos que orientan atención, emoción y memoria hacia propósitos de aprendizaje. Su valor no depende del adorno argumental, sino de la capacidad para relacionar acciones, metas y consecuencias dentro de una trama significativa. Cuando una actividad presenta tensión, avance y resolución parcial, el estudiante dispone de referencias para anticipar eventos. Esa estructura narrativa favorece continuidad cognitiva y otorga sentido a decisiones que podrían percibirse fragmentadas.

La atención constituye una puerta de entrada para la eficacia narrativa, pues determina qué estímulos reciben procesamiento preferente y cuáles permanecen periféricos. Una trama bien articulada puede dirigir recursos atencionales hacia información relevante mediante cambios de ritmo, preguntas, conflictos o señales visuales. Vidanaralage et al. (2022) plantean un

marco multidisciplinario que combina análisis de esquemas y emociones para valorar aprendizaje gamificado basado en video, vinculando organización narrativa, experiencia afectiva y procesamiento del contenido educativo presentado.

El componente emocional amplía dicha función al conferir relevancia personal a acontecimientos. Curiosidad, sorpresa, expectativa o satisfacción pueden modificar la disposición para mantener atención y elaborar información, siempre que guarden relación con la tarea. La emoción pierde valor pedagógico cuando funciona como estímulo aislado. En cambio, integrada en una secuencia narrativa, puede marcar transiciones, reforzar significados y generar puntos de referencia que faciliten posteriormente la evocación de conceptos, procedimientos o decisiones desarrolladas durante la actividad.

La memoria se beneficia cuando la información encuentra relaciones internas que facilitan codificación y recuperación. Las narrativas proporcionan estructuras temporales, causales y semánticas capaces de enlazar contenidos nuevos con conocimientos previos. Vidanaralage et al. (2022) conceden especial atención al análisis de esquemas como vía para examinar aprendizaje mediante materiales audiovisuales gamificados. Desde una lectura neurocognitiva, organizar contenidos alrededor de acontecimientos relacionados puede disminuir fragmentación y ofrecer claves para reconstruir posteriormente lo aprendido con mayor coherencia.

Sin embargo, una narrativa atractiva no garantiza mayor rendimiento cognitivo. La incorporación de elementos lúdicos puede añadir demandas perceptivas o decisionales que compiten con recursos destinados a la tarea principal. Scharinger et al. (2023), mediante EEG y seguimiento ocular en una tarea n-back, hallaron efectos de la gamificación sobre experiencia subjetiva e indicadores fisiológicos, aunque sin mejoras claras del desempeño. La evidencia

invita a valorar cuidadosamente la carga añadida por recursos narrativos, visuales y competitivos.

La relación entre narrativa y memoria de trabajo exige moderación. Personajes, misiones, transiciones y señales audiovisuales pueden sostener interés, pero también ocupar recursos cuando aparecen sin función pedagógica definida. Los resultados de Scharinger et al. (2023) muestran que una presentación gamificada puede modificar respuestas vinculadas con esfuerzo y experiencia sin traducirse en ganancias cognitivas. Diseñar con criterio implica decidir qué elementos merecen permanecer y cuáles distraen de las operaciones mentales requeridas por cada actividad educativa.

La motivación aporta otro vínculo entre experiencia narrativa y permanencia atencional. Cuando el estudiante percibe propósito, avance y posibilidad de intervención, la actividad puede adquirir mayor relevancia subjetiva. Alsadoon et al. (2022) encontraron efectos favorables de un ambiente gamificado sobre logro, motivación y satisfacción. Tales resultados respaldan diseños donde la narrativa acompaña metas comprensibles y oportunidades de participación, procurando que el interés generado por la trama conduzca hacia el contenido y no hacia estímulos periféricos.

Desde una perspectiva neuroadaptativa, la narrativa puede transformarse durante la interacción según señales conductuales, afectivas o neurofisiológicas. Variaciones en atención sostenida, elecciones recurrentes o respuestas emocionales permiten modificar ritmo, complejidad y densidad de acontecimientos. La adaptación narrativa requiere prudencia: cambios demasiado frecuentes pueden quebrar continuidad y dificultar la formación de representaciones coherentes. Conviene preservar una línea argumental reconocible mientras determinados componentes se ajustan gradualmente, manteniendo equilibrio entre estabilidad semántica y sensibilidad ante variaciones del estudiante.

También resulta relevante considerar la agencia narrativa, entendida como capacidad del estudiante para tomar decisiones con consecuencias dentro de la experiencia. Elegir rutas, formular estrategias o resolver dilemas puede favorecer elaboración profunda cuando cada decisión demanda recuperar y aplicar conocimientos. La participación deja entonces de ser ornamental. El estudiante interviene en la construcción del relato y establece vínculos entre acción y significado, condición que puede fortalecer codificación mnésica al asociar información académica con decisiones relevantes.

El diseño de narrativas gamificadas requiere, por tanto, coordinar atención, emoción y memoria sin tratarlas como procesos independientes. Una trama pedagógicamente cuidada dirige recursos atencionales, atribuye relevancia afectiva y ofrece estructuras que favorecen recuperación posterior. La evidencia de Vidanaralage et al. (2022), Scharinger et al. (2023) y Alsadoon et al. (2022) aconseja equilibrar atractivo y demanda cognitiva. La neuroadaptación cobra sentido cuando preserva coherencia narrativa mientras ajusta intensidad, ritmo y participación a respuestas individuales observadas.

2.4. Diseño de experiencias neuroadaptativas según estados cognitivos del estudiante

El diseño de experiencias neuroadaptativas desplaza la personalización desde preferencias relativamente persistentes hacia estados cognitivos que varían durante la actividad. Atención, carga mental, fatiga, disposición motivacional y control ejecutivo pueden fluctuar incluso dentro de una misma sesión. Reconocer dichas variaciones permite regular demandas educativas con mayor precisión. La experiencia deja de responder a configuraciones predeterminadas y adopta una lógica sensible al momento, donde cada intervención procura mantener una relación productiva entre exigencia, capacidad disponible y propósito formativo.

Detectar un estado cognitivo requiere combinar indicios procedentes de distintas fuentes, pues ninguna señal aislada describe con precisión la actividad mental del estudiante. Tiempos de respuesta, errores recurrentes, pausas, movimientos oculares y registros neurofisiológicos pueden adquirir valor cuando convergen dentro de un modelo interpretativo. La inferencia debe conservar cierto grado de incertidumbre. Diseñar desde dicha premisa evita decisiones automáticas precipitadas y favorece intervenciones graduadas, capaces de responder a tendencias consistentes antes que a oscilaciones circunstanciales.

La atención ofrece un caso especialmente relevante para comprender dicha dinámica. Anguera et al. (2023) evaluaron una intervención mediante videojuego que integraba demandas cognitivas y físicas en población infantil, encontrando mejoras en medidas relacionadas con la atención después del entrenamiento. La evidencia permite considerar experiencias digitales donde las demandas se regulen a partir del desempeño observado. Adaptar no equivale a simplificar continuamente; también puede significar incrementar exigencia cuando las capacidades disponibles permiten avanzar sin provocar sobrecarga innecesaria.

La carga cognitiva introduce otra dimensión del diseño, ya que una misma tarea puede resultar manejable en cierto momento y excesiva minutos después. Un sistema neuroadaptativo puede responder reduciendo estímulos secundarios, segmentando información, ampliando tiempos o modificando temporalmente la complejidad. Tales ajustes requieren conservar el objetivo pedagógico. La adaptación pierde sentido cuando elimina la dificultad necesaria para aprender. Su función consiste en regular condiciones de ejecución para que el esfuerzo permanezca intelectualmente fértil y compatible con recursos disponibles.

La gamificación adaptativa aporta mecanismos para traducir dichas estimaciones cognitivas en modificaciones perceptibles dentro de la experiencia. Zourmpakis et al. (2023)

analizaron la adaptación de elementos lúdicos en educación científica y encontraron diferencias motivacionales asociadas con su implementación. Desde una perspectiva neuroadaptativa, puntos, niveles, avatares o actividades cooperativas pueden modularse según indicadores de participación y respuesta. El criterio central reside en seleccionar intervenciones que acompañen necesidades cambiantes sin convertir cada fluctuación del estudiante en una alteración visible.

Figura 6

Adaptación educativa según estados cognitivos



Una adaptación excesivamente reactiva puede generar inestabilidad. Si la interfaz, dificultad o dinámica lúdica cambian ante cualquier variación registrada, el estudiante puede perder referencias necesarias para anticipar acciones y regular su conducta. Conviene trabajar con ventanas temporales, umbrales de confianza y patrones acumulados. La arquitectura responde entonces a tendencias, no a episodios aislados. Dicha estabilidad resulta compatible con la personalización progresiva y permite conservar continuidad pedagógica mientras el sistema ajusta determinados parámetros con discreción y propósito.

La evidencia sobre gamificación personalizada refuerza la necesidad de abandonar configuraciones uniformes. Xiao y Hew (2024) encontraron ventajas de la personalización frente a una propuesta idéntica para todos en resultados motivacionales, conductuales y cognitivos dentro del aprendizaje completamente en línea. En una experiencia neuroadaptativa, dicho principio adquiere mayor granularidad: las decisiones pueden variar no únicamente entre estudiantes, sino también dentro de la trayectoria de una misma persona, atendiendo a cambios detectados durante su participación educativa.

El estado de fatiga merece consideración particular porque altera persistencia, velocidad de procesamiento y capacidad para sostener esfuerzo. Una respuesta adaptativa puede introducir pausas, alternar modalidades o reorganizar temporalmente la secuencia de tareas, evitando interpretar menor rendimiento como falta de conocimiento. Algo semejante ocurre con períodos de alta activación, donde incrementar estímulos puede resultar contraproducente. La sensibilidad neuroadaptativa exige distinguir entre necesidad de apoyo y necesidad de espacio, una diferencia pequeña en apariencia, pero pedagógicamente significativa.

La autonomía del estudiante debe permanecer visible dentro de cualquier sistema capaz de modificar la experiencia mediante inferencias cognitivas. Ofrecer alternativas, explicar ciertos ajustes o permitir rechazar recomendaciones reduce el riesgo de una adaptación opaca. Xiao y Hew (2024) muestran que la personalización puede beneficiar dimensiones motivacionales y cognitivas, aunque su valor educativo depende de una implementación coherente. La tecnología debería acompañar la autorregulación, proporcionando información y oportunidades de elección en lugar de sustituir decisiones personales.

Diseñar experiencias según estados cognitivos implica concebir la neuroadaptación como regulación continua entre evidencia, intervención y respuesta educativa. Los aportes de

Anguera et al. (2023), Zourmpakis et al. (2023) y Xiao y Hew (2024) permiten articular atención, adaptación gamificada y personalización dentro de una perspectiva común. La meta consiste en sostener condiciones favorables para aprender mientras cambian las capacidades momentáneas. Bajo dicha lógica, adaptarse significa escuchar datos con prudencia y actuar con intención pedagógica.

2.5. Personalización algorítmica de niveles, misiones y trayectorias de aprendizaje

La personalización algorítmica de niveles, misiones y trayectorias permite convertir la adaptación educativa en una secuencia de decisiones apoyadas por datos. En lugar de ofrecer itinerarios idénticos, el sistema estima qué actividad resulta pertinente según desempeño, participación y progreso acumulado. Cada decisión modifica la experiencia posterior y genera nueva evidencia. Bajo dicha lógica, personalizar significa ordenar oportunidades de aprendizaje con criterios explícitos, preservando metas formativas comunes mientras varían ritmo, complejidad, secuencia y modalidad de participación.

El nivel constituye una unidad reguladora capaz de graduar dificultad sin reducir el aprendizaje a una escalera lineal. Un algoritmo puede considerar precisión, número de intentos, velocidad de resolución y dominio previo antes de habilitar nuevas tareas. Xiao y Hew (2024) encontraron ventajas motivacionales, conductuales y cognitivas de la gamificación personalizada frente a configuraciones uniformes. Tal evidencia respalda decisiones diferenciadas, siempre que los cambios respondan a necesidades educativas verificables y mantengan expectativas académicas claramente reconocibles.

Las misiones permiten organizar objetivos mediante unidades con propósito, duración y criterios de logro definidos. Su personalización algorítmica puede variar recursos, restricciones,

apoyos o rutas de resolución sin alterar la competencia perseguida. Una misión adecuada no entrega necesariamente la tarea más fácil; propone aquella cuya exigencia favorece avance. El algoritmo necesita distinguir entre error productivo y bloqueo persistente, pues ambos generan registros semejantes en apariencia, aunque demandan intervenciones pedagógicas diferentes para sostener aprendizaje y autonomía.

La trayectoria de aprendizaje amplía la escala de decisión, articulando varias actividades según relaciones de prerrequisito, dominio y preferencia. González-González et al. (2023) plantean una arquitectura reactiva de gamificación personalizada donde el modelado del estudiante alimenta respuestas adaptadas mediante componentes inteligentes. Aplicado a trayectorias, dicho enfoque permite actualizar rutas conforme aparecen evidencias. El itinerario deja de ser una secuencia cerrada y se convierte en una estructura revisable, capaz de conservar dirección pedagógica sin imponer uniformidad.

Para decidir una ruta, los algoritmos pueden emplear reglas expertas, modelos probabilísticos o técnicas de aprendizaje automático. Cada alternativa ofrece grados distintos de interpretabilidad y capacidad predictiva. En educación, la precisión no debería desplazar la comprensión de la decisión. Saber por qué una misión fue recomendada importa tanto como estimar su conveniencia. Los sistemas más valiosos permiten rastrear variables relevantes, revisar recomendaciones y detectar sesgos que podrían restringir oportunidades formativas de determinados grupos de estudiantes.

La personalización también requiere decidir cuándo mantener una actividad. Cambiar de nivel ante cada error puede impedir perseverancia, mientras prolongar una tarea dominada favorece aburrimiento. Zourmpakis et al. (2023) observaron efectos motivacionales vinculados con la adaptación de elementos gamificados en educación científica. Desde esa perspectiva, el

algoritmo necesita interpretar patrones acumulados antes de modificar misiones o progresión. La permanencia, la repetición y el cambio oportuno forman parte del repertorio adaptativo, no representan decisiones mutuamente excluyentes.

Una trayectoria personalizada debe conservar espacios de elección para evitar que la predicción algorítmica determine por completo la experiencia. Ofrecer misiones equivalentes, permitir revisar recomendaciones o seleccionar caminos fortalece participación deliberada. Xiao y Hew (2024) muestran que la personalización puede favorecer resultados relevantes en aprendizaje en línea. Sin embargo, una ruta eficaz necesita combinar inferencia computacional con agencia, porque aprender implica también decidir, equivocarse, reconsiderar preferencias y asumir responsabilidad gradual sobre las propias metas académicas.

El historial de interacción permite que la personalización adquiera memoria, pero acumular datos indefinidamente puede otorgar demasiado peso a conductas antiguas. Una dificultad registrada al inicio no debería condicionar permanentemente misiones posteriores. Los modelos necesitan mecanismos de actualización que reduzcan la influencia de evidencias envejecidas. González-González et al. (2023) destacan el valor de arquitecturas reactivas capaces de alimentar modelos de usuario con información dinámica. La trayectoria puede entonces reflejar cambios reales en desempeño y participación.

La transparencia algorítmica adquiere relevancia cuando una recomendación modifica acceso, dificultad o secuencia de actividades. Docentes y estudiantes deberían comprender, en términos, qué factores orientan una decisión y disponer de vías para cuestionarla. La personalización educativa no puede convertirse en clasificación silenciosa. Registrar criterios, ofrecer explicaciones comprensibles y permitir intervención humana protege la flexibilidad pedagógica. Además, facilita evaluar si determinadas

rutas amplían oportunidades de aprendizaje o reproducen diferencias derivadas de datos incompletos o interpretaciones deficientes.

En conjunto, personalizar niveles, misiones y trayectorias exige equilibrar capacidad predictiva, intención pedagógica y libertad de elección. Los aportes de Xiao y Hew (2024), González-González et al. (2023) y Zourmpakis et al. (2023) permiten fundamentar una adaptación que aprende de la interacción sin convertirla en destino. El algoritmo cumple su función cuando propone caminos revisables, reconoce progresos inesperados y deja espacio para decisiones humanas. Personalizar significa orientar posibilidades, no clausurarlas anticipadamente ni reducirlas a predicciones.

2.6. Interfaces multimodales y diseño sensorial para experiencias gamificadas de alta implicación

Las interfaces multimodales amplían la experiencia gamificada al distribuir información entre canales visuales, auditivos, táctiles, gestuales y fisiológicos. Su diseño requiere coordinar señales para que cada modalidad aporte una función reconocible dentro de la actividad educativa. La riqueza sensorial pierde valor cuando multiplica estímulos sin jerarquía. En cambio, una combinación equilibrada puede favorecer orientación perceptiva, participación y continuidad de la acción, especialmente cuando la interfaz responde con precisión a las decisiones realizadas por cada estudiante.

La multimodalidad también ofrece una vía para observar el aprendizaje desde señales complementarias. Ouhaichi et al. (2023) identificaron, mediante un estudio sistemático, una creciente utilización de datos multimodales para analizar procesos educativos, con especial atención a combinaciones de fuentes fisiológicas, conductuales y ambientales. Tal perspectiva permite relacionar acciones visibles con indicadores menos evidentes. En

experiencias gamificadas, dicha convergencia puede alimentar decisiones adaptativas sin atribuir significado definitivo a una señal aislada del comportamiento individual.

El canal visual ocupa una posición destacada, aunque su predominio merece regulación. Color, movimiento, profundidad, iconografía y organización espacial pueden orientar la mirada hacia metas relevantes o, por el contrario, competir por recursos atencionales. Un diseño sensorial eficaz establece jerarquías perceptivas y reserva los cambios intensos para acontecimientos significativos. La interfaz adquiere entonces una cierta respiración: momentos de densidad alternan con espacios perceptivamente tranquilos, permitiendo que la atención encuentre referencias sin permanecer sometida a estimulación constante.

El sonido aporta temporalidad, anticipación y presencia, cualidades especialmente útiles cuando la mirada está ocupada con otra tarea. Una señal auditiva breve puede anunciar progreso, advertir un cambio o confirmar una acción sin recargar el espacio visual. Su eficacia depende de la correspondencia entre forma y significado. Cuando cada sonido posee una función consistente, el estudiante aprende a interpretarlo rápidamente. La saturación acústica, en cambio, puede fragmentar atención y convertir la experiencia en una sucesión agotadora.

La dimensión háptica y corporal amplía las posibilidades de interacción al incorporar movimiento, vibración y respuesta física. Sensores portátiles permiten registrar variables vinculadas con actividad fisiológica mientras el estudiante participa en tareas educativas. Khosravi et al. (2022) examinaron aplicaciones de dispositivos vestibles en educación superior y destacaron su potencial para apoyar procesos de aprendizaje mediante información obtenida durante la actividad. Tales recursos requieren criterios pedagógicos, comodidad física y una interpretación prudente de los datos recogidos.

Una interfaz de alta implicación no necesita mantener intensidad sensorial elevada durante toda la sesión. La variación resulta más fértil: transiciones suaves, pausas visuales, silencios y cambios de ritmo pueden conservar sensibilidad frente a señales importantes. Desde una perspectiva neuroadaptativa, la interfaz podría reducir estímulos ante indicios de sobrecarga o modificar su presentación cuando disminuye la participación. La adaptación sensorial adquiere valor cuando regula la experiencia sin interrumpir la continuidad perceptiva ni reclamar atención sobre su funcionamiento.

Los materiales audiovisuales gamificados permiten observar la convergencia entre diseño sensorial, emoción y organización cognitiva. Vidanaralage et al. (2022) desarrollaron un marco basado en inteligencia artificial para valorar aprendizaje gamificado mediante video, combinando análisis emocional y de esquemas. La propuesta evidencia que las respuestas afectivas pueden estudiarse junto con la estructura del aprendizaje. Para el diseño multimodal, dicha relación invita a coordinar imagen, sonido y secuencia narrativa alrededor de propósitos formativos claramente delimitados y evaluables.

La personalización sensorial también debe reconocer diferencias en accesibilidad, tolerancia perceptiva y preferencias de interacción. Una modalidad útil para determinada persona puede resultar distractora o incómoda para otra. Permitir regular volumen, animaciones, vibración, contraste o densidad informativa convierte la accesibilidad en parte constitutiva del diseño. La multimodalidad alcanza mayor madurez cuando ofrece alternativas equivalentes para acceder a información y participar, evitando que la riqueza tecnológica se transforme en una barrera para determinados perfiles de estudiantes.

Los datos procedentes de múltiples canales plantean además preguntas sobre privacidad, proporcionalidad y significado pedagógico. Ouhaichi et al. (2023) muestran la diversidad de

fuentes empleadas en analíticas multimodales, mientras Khosravi et al. (2022) describen posibilidades asociadas con sensores vestibles. Registrar más variables no garantiza comprender mejor al estudiante. Cada medición necesita una justificación educativa, límites de conservación y criterios transparentes de interpretación, especialmente cuando involucra señales fisiológicas capaces de revelar información personal sensible.

El diseño sensorial neuroadaptativo encuentra su mayor potencial cuando la tecnología deja de reclamar protagonismo y acompaña la actividad con discreción. Imagen, sonido, tacto, movimiento y señales fisiológicas pueden conformar un sistema coordinado que percibe, responde y regula su intensidad. Los aportes de Ouhaichi et al. (2023), Khosravi et al. (2022) y Vidanaralage et al. (2022) permiten fundamentar dicha integración. La alta implicación nace de una relación equilibrada entre percepción, acción y significado educativo.

Tabla 2
Componentes de la gamificación neuroadaptativa y su función en el diseño de experiencias educativas

Componente del capítulo	Aporte al diseño de experiencias educativas
Arquitecturas basadas en perfiles cognitivos y patrones de interacción	Articulan información cognitiva y conductual para orientar decisiones adaptativas. Los perfiles se conciben como representaciones dinámicas que evolucionan conforme cambia la interacción del estudiante, favoreciendo configuraciones diferenciadas de la experiencia gamificada.
Mecánicas de recompensa y retroalimentación neurocognitiva	Regulan atención, expectativa, motivación y valoración del desempeño mediante metas, incentivos y señales informativas. Su eficacia depende de la relación entre esfuerzo, dificultad, progreso percibido y significado atribuido a la recompensa.
Narrativas gamificadas y procesos cognitivo-afectivos	Organizan acontecimientos, decisiones y contenidos mediante estructuras narrativas que favorecen continuidad atencional, implicación emocional y codificación mnésica. La trama adquiere valor pedagógico cuando

	dirige el interés hacia objetivos de aprendizaje y evita demandas accesorias.
Experiencias neuroadaptativas según estados cognitivos	Ajustan determinadas condiciones de la actividad atendiendo a variaciones de atención, carga mental, fatiga, motivación y control ejecutivo. La adaptación busca mantener una relación productiva entre exigencia académica y recursos cognitivos disponibles.
Personalización algorítmica de niveles, misiones y trayectorias	Utiliza datos de desempeño e interacción para recomendar actividades, graduar dificultad y reorganizar rutas de aprendizaje. Los algoritmos funcionan como mecanismos de orientación revisable, preservando autonomía, transparencia y posibilidad de intervención humana.
Interfaces multimodales y diseño sensorial	Integran canales visuales, auditivos, hápticos, gestuales y fisiológicos para enriquecer la interacción. La coordinación sensorial procura distribuir información con jerarquía perceptiva, regular la estimulación y favorecer experiencias accesibles de alta implicación.
Integración neuroadaptativa	Vincula perfiles, estados cognitivos, mecánicas gamificadas, narrativas, algoritmos e interfaces dentro de una arquitectura educativa dinámica. La personalización adquiere sentido cuando los datos se traducen en decisiones pedagógicas pertinentes sin reducir al estudiante a mediciones o predicciones automatizadas.

Nota. La tabla organiza los principales componentes desarrollados en el Capítulo 2 y sus aportes al diseño neuroadaptativo de experiencias educativas gamificadas.

Capítulo III

Atención, motivación y engagement en ecosistemas gamificados

Aprender en un entorno gamificado implica mucho más que responder a estímulos atractivos o acumular recompensas digitales. Cada decisión de diseño interviene en una trama donde atención, motivación y participación se influyen mutuamente, con ritmos que cambian durante la experiencia educativa. Una actividad puede despertar interés en pocos segundos y perderlo después; también puede requerir cierto tiempo antes de adquirir significado. Comprender dicha variabilidad permite mirar la gamificación desde una perspectiva neurocognitiva menos instrumental y pedagógicamente más cuidadosa.

La atención constituye una puerta de acceso al aprendizaje, aunque mantenerla activa no garantiza comprensión. Importa aquello hacia lo cual se orienta, durante cuánto tiempo y bajo qué demandas cambia de foco. Anguera et al. (2023) documentaron mejoras atencionales mediante un videojuego adaptativo que combinaba entrenamiento cognitivo y actividad física en población infantil. Hallazgos semejantes amplían la conversación educativa: las tecnologías gamificadas pueden intervenir sobre procesos cognitivos relevantes cuando responden a propósitos definidos y mecanismos de adaptación razonados.

Junto con la atención aparece la motivación, entendida como una fuerza dinámica que orienta la disposición para iniciar, sostener o abandonar una actividad. No toda participación responde a las mismas razones. Li et al. (2024), mediante revisión sistemática y metaanálisis, encontraron efectos favorables de la gamificación sobre motivación intrínseca, autonomía y vinculación, mientras los resultados relativos a competencia fueron menores. La diferencia resulta reveladora, pues recuerda que ninguna mecánica produce efectos psicológicos uniformes por mera presencia tecnológica.

Entre capacidad y exigencia se abre otro problema relevante: la dificultad necesita conservar una tensión que movilice recursos sin convertir el esfuerzo en desgaste improductivo. Allí

adquiere interés el estado de flujo, especialmente cuando las metas resultan comprensibles y el avance mantiene correspondencia con las habilidades disponibles. Zourmpakis et al. (2023) analizaron la gamificación adaptativa en educación científica y destacaron el valor de ajustar elementos lúdicos según diferencias individuales, una orientación especialmente pertinente para sistemas educativos sensibles al desempeño.

Figura 7
Dinámica neurocognitiva del aprendizaje gamificado



La participación también nace de aquello que rompe una expectativa, abre una pregunta o deja información deliberadamente incompleta. Curiosidad, novedad y sorpresa pueden movilizar búsqueda, inferencia y revisión de ideas cuando guardan relación con el contenido educativo. Lampropoulos y Kinshuk (2024), en su revisión sobre realidad virtual y gamificación, identificaron resultados favorables vinculados con diversas dimensiones educativas, acompañados por una notable heterogeneidad metodológica. Tal diversidad aconseja distinguir entre estimulación perceptiva y participación cognitiva con verdadero valor formativo.

Pero atraer y mantener la atención tiene límites. Las interfaces digitales pueden acumular señales visuales, sonidos, indicadores de progreso, recompensas y transiciones hasta convertir la riqueza interactiva en carga innecesaria. Scharinger et al. (2023), mediante EEG y seguimiento ocular, observaron que gamificar una tarea de memoria de trabajo favoreció aspectos subjetivos de la experiencia sin producir beneficios equivalentes en todas las medidas estudiadas. El dato resulta pertinente: mayor atractivo no debe interpretarse automáticamente como mayor eficacia cognitiva.

La regulación de la intensidad adquiere, por ello, una dimensión pedagógica y también ética. Diseñar experiencias educativas no consiste en prolongar indefinidamente la interacción, sino en organizar ritmos compatibles con concentración, elaboración y recuperación. Hung y Li (2024) estudiaron mediante EEG variaciones atencionales en actividades de enseñanza universitaria combinada, aportando evidencia sobre la naturaleza cambiante de la atención durante diferentes tareas. Reconocer tales fluctuaciones permite abandonar la expectativa poco realista de una activación uniforme durante toda sesión educativa.

El engagement reúne buena parte de tales procesos, aunque no puede reducirse a permanencia, frecuencia de acceso o cantidad de clics. Ritzhaupt et al. (2021) identificaron mediante metaanálisis efectos favorables de la gamificación sobre resultados afectivos y conductuales en escenarios educativos formales. La implicación significativa requiere, además, inversión cognitiva y una razón para continuar. Desde dicha perspectiva, permanecer adquiere sentido cuando el estudiante piensa, decide, revisa y vuelve a la actividad porque reconoce valor en aquello que realiza.

La personalización amplía esa mirada al reconocer que una misma arquitectura gamificada puede producir respuestas diferentes entre estudiantes. Xiao y Hew (2024) compararon

gamificación personalizada y gamificación uniforme en aprendizaje plenamente en línea, atendiendo dimensiones motivacionales, conductuales y cognitivas. A su vez, Zorrilla Pantaleón et al. (2021) estudiaron estrategias destinadas a fomentar tiempo de estudio fuera del aula. Ambas líneas desplazan el interés desde la interacción inmediata hacia trayectorias de participación capaces de prolongarse con sentido académico.

Bajo dicha perspectiva, el capítulo aborda atención, motivación y engagement como procesos relacionados, cambiantes y sensibles a las decisiones de diseño. La neurotecnología aporta nuevas posibilidades para observar señales antes difíciles de registrar, mientras la gamificación ofrece recursos para organizar experiencias participativas. Ninguna herramienta reemplaza el juicio pedagógico. La cuestión relevante reside en articular evidencia, diseño y sensibilidad educativa para favorecer experiencias donde participar no signifique permanecer conectado, sino comprometer recursos mentales y afectivos con aprender.

3.1. Atención sostenida, selectiva y alternante en actividades educativas gamificadas

La atención sostenida constituye una condición funcional para mantener la actividad cognitiva durante periodos prolongados, especialmente cuando una propuesta gamificada exige continuidad, vigilancia y regulación del esfuerzo. En educación, su valor no reside en prolongar mecánicamente la permanencia frente a una pantalla, sino en favorecer ciclos de concentración con metas comprensibles, retroalimentación oportuna y variaciones de dificultad. Una arquitectura lúdica bien calibrada puede convertir la persistencia atencional en una experiencia intelectualmente significativa y pedagógicamente orientada.

Dentro de una actividad gamificada, mantener el foco depende de la relación entre demanda, novedad y expectativa de

logro. Cuando los estímulos compiten excesivamente, la atención puede fragmentarse; cuando la tarea carece de variación, disminuye la vigilancia. Por ello, el diseño educativo requiere dosificar recompensas, señales visuales, pausas y cambios de ritmo. Anguera et al. (2023) observaron mejoras atencionales tras una intervención que integraba ejercicio cognitivo y físico mediante un videojuego adaptativo en población infantil.

La atención selectiva permite priorizar información relevante mientras se inhiben distractores que carecen de utilidad para la meta de aprendizaje. En escenarios gamificados, dicha capacidad adquiere importancia porque sonidos, insignias, avatares, temporizadores y animaciones orientan la percepción o competir con el contenido disciplinar. El criterio pedagógico debe decidir qué elemento merece prominencia. Una señal breve puede dirigir la mirada hacia una relación conceptual; un exceso ornamental, en cambio, puede dispersar recursos cognitivos necesarios para comprender.

Los mecanismos de selección atencional también intervienen cuando el estudiante debe distinguir pistas pertinentes entre múltiples señales. Tal exigencia puede aprovecharse con intención formativa mediante misiones que requieran localizar evidencias, comparar alternativas o descartar información irrelevante. La gamificación deja entonces de operar como decoración y pasa a organizar decisiones cognitivas. Scharinger et al. (2023) hallaron una experiencia subjetiva más positiva en una tarea n-back gamificada, aunque sin mejoras equivalentes en rendimiento ni carga fisiológica registrada.

La atención alternante, por su parte, desplaza el foco entre tareas, reglas o fuentes de información sin perder la orientación hacia una meta mayor. Su presencia aparece en experiencias educativas con misiones encadenadas: leer una consigna, resolver un problema, consultar una pista y regresar a la decisión inicial. Cada transición tiene un costo cognitivo. Por ello, alternar no

equivale a multiplicar estímulos, sino a diseñar cambios funcionales cuyo ritmo preserve continuidad mental y sentido pedagógico.

Una propuesta gamificada entrena la flexibilidad atencional cuando las transiciones responden a reglas comprensibles y guardan relación con el objetivo formativo. Cambiar entre una representación gráfica, una explicación verbal y una decisión estratégica obliga a reorganizar prioridades sin abandonar el hilo conceptual. Sin embargo, las transiciones frecuentes pueden convertir la actividad en una sucesión de interrupciones. El valor educativo aparece cuando cada cambio demanda una reorientación deliberada, pertinente y proporcional a las capacidades del estudiante.

Las tres modalidades atencionales operan de manera coordinada durante parte de las experiencias gamificadas. La sostenida mantiene la continuidad; la selectiva protege la meta frente a interferencias; la alternante facilita desplazamientos entre demandas sucesivas. Tal coordinación no permanece estable durante toda una sesión. Hung y Li (2024) reportaron variaciones en los niveles de atención según el tipo de actividad académica, con valores mayores durante discusiones grupales que durante pruebas previas y exposiciones, según registros electroencefalográficos.

Desde una perspectiva neuroeducativa, medir atención exige prudencia interpretativa. Los registros electroencefalográficos, el seguimiento ocular y los indicadores conductuales aportan ventanas complementarias, pero ninguno traduce por sí mismo la riqueza de la experiencia educativa. Scharinger et al. (2023) encontraron diferencias exploratorias en actividad theta parietal derecha durante una versión gamificada, sin cambios generales en desempeño. La lectura pedagógica debe integrar medidas fisiológicas con conducta, percepción del esfuerzo, calidad de respuesta y características de cada tarea.

El diseño adaptativo ofrece una vía para ajustar las demandas atencionales sin convertir la experiencia en vigilancia permanente. Modificar velocidad, complejidad o cantidad de distractores según el desempeño permite sostener una zona de exigencia productiva. Anguera et al. (2023) documentaron mejoras en medidas conductuales y neurales tras sesiones repetidas con un videojuego cognitivo-físico de circuito cerrado. Tales resultados respaldan la conveniencia de vincular adaptación, práctica distribuida y metas observables dentro de propuestas educativas cuidadosamente planificadas.

Consideradas en conjunto, atención sostenida, selectiva y alternante permiten comprender por qué una experiencia gamificada favorece el aprendizaje o convertirse en ruido interactivo. La diferencia reside en la arquitectura de las demandas: duración razonable, señales jerarquizadas, transiciones justificadas y retroalimentación vinculada con decisiones relevantes. Diseñar para la atención implica respetar sus límites y aprovechar su plasticidad. La gamificación adquiere valor educativo cuando organiza el esfuerzo mental, mantiene propósito y convierte la participación en actividad intencional.

3.2. Motivación intrínseca y extrínseca ante sistemas digitales de recompensas

La motivación ocupa un lugar central en los sistemas educativos gamificados porque orienta la intensidad, persistencia y dirección del esfuerzo. Frente a una recompensa digital, el estudiante puede actuar por interés personal, satisfacción derivada del dominio o expectativa de reconocimiento externo. Ambas fuentes motivacionales conviven y modifican su peso durante la experiencia. Comprender dicha relación permite diseñar incentivos que acompañen el aprendizaje sin desplazar el valor intelectual, afectivo y social atribuido a la actividad formativa.

La motivación intrínseca se vincula con el interés que nace de participar en una tarea percibida como valiosa, estimulante o significativa. En ambientes gamificados, puede fortalecerse cuando existen márgenes de elección, metas comprensibles y oportunidades para experimentar progreso. Li et al. (2024) encontraron que la gamificación favorece la motivación intrínseca y las percepciones de autonomía y vinculación. Tal evidencia invita a pensar la recompensa como apoyo para la agencia, antes que como mecanismo de presión.

Figura 8

Equilibrio motivacional ante recompensas digitales



La motivación extrínseca responde a consecuencias separables de la actividad: puntos, insignias, posiciones, certificados, privilegios constituyen ejemplos. Su presencia no implica necesariamente una experiencia superficial, pues un incentivo externo puede facilitar el inicio de conductas académicas que posteriormente adquieren significado personal. El problema aparece cuando la recompensa concentra toda la atención y transforma aprender en una transacción. Bajo esa lógica, el

estudiante persigue el marcador mientras pierde de vista la razón formativa que lo sustenta.

Los sistemas digitales de recompensas adquieren valor pedagógico cuando reconocen avances vinculados con decisiones, estrategias y logros. Una insignia concedida por perseverar ante un problema complejo comunica algo distinto de otra otorgada por ingresar repetidamente a una plataforma. Ritzhaupt et al. (2021), mediante un metaanálisis sobre educación, identificaron efectos favorables de la gamificación en resultados afectivos y conductuales. La calidad del incentivo, por tanto, depende de aquello que representa y de la conducta que legitima.

Conviene distinguir recompensa de retroalimentación. La primera entrega una consecuencia asociada con conducta; la segunda aporta información que ayuda a interpretar el desempeño y orientar acciones posteriores. Cuando ambas funciones se confunden, puntos y medallas pueden acumularse sin explicar qué aprendió el estudiante ni qué necesita revisar. Un sistema pedagógicamente cuidado convierte el reconocimiento en información legible: señala progreso, hace visible una competencia desarrollada y abre posibilidades de decisión para continuar aprendiendo con mayor autonomía.

La autonomía resulta relevante porque modifica el significado psicológico de una recompensa. Recibir puntos tras elegir una ruta, asumir una meta y regular el propio avance difiere de obtenerlos por obedecer instrucciones rígidas. Li et al. (2024) observaron efectos positivos de la gamificación sobre la percepción de autonomía y relación social, mientras el efecto sobre competencia fue reducido. La arquitectura motivacional requiere, entonces, atender necesidades psicológicas diversas en lugar de confiar indiscriminadamente en estímulos acumulables.

También importa la dimensión social del reconocimiento. Tableros de posiciones, niveles compartidos y recompensas

colectivas pueden estimular pertenencia, cooperación o comparación, según las reglas que organicen la experiencia. Alsadoon et al. (2022) registraron efectos favorables de un ambiente gamificado sobre logro, motivación y satisfacción estudiantil. Sin embargo, trasladar tales resultados a cualquier diseño sería apresurado. La respuesta motivacional depende de la articulación entre objetivos académicos, características del grupo, criterios de reconocimiento y oportunidades de participación.

La frecuencia de las recompensas merece atención. Un reconocimiento constante puede gradualmente perder capacidad informativa y convertir cada acción en una búsqueda anticipada de compensación. En cambio, recompensas vinculadas con hitos relevantes preservan su significado dentro de la actividad. No se trata de eliminar incentivos, sino de regular su presencia. La expectativa debe acompañar el esfuerzo sin gobernarlo, dejando espacio para que curiosidad, dominio, cooperación y satisfacción por aprender adquieran peso durante la experiencia educativa.

Desde el diseño instruccional, una recompensa guarda correspondencia con la dificultad de la tarea y con el tipo de conducta que pretende promover. Premiar velocidad en una actividad que exige reflexión puede inducir respuestas precipitadas; reconocer revisión, argumentación o mejora progresiva orienta el esfuerzo hacia procesos de valor académico. Ritzhaupt et al. (2021) mostraron que los efectos afectivos y conductuales de la gamificación varían entre implementaciones, hecho que refuerza la necesidad de decisiones pedagógicas deliberadas.

La relación entre motivación intrínseca y extrínseca debe entenderse como dinámica, no como una oposición. Un incentivo puede atraer la participación y, mediante experiencias de dominio, autonomía y pertenencia, ceder protagonismo al interés por aprender. La meta educativa consiste en lograr que puntos, insignias o niveles funcionen como señales de progreso, sin convertirse en el propósito dominante. Cuando el sistema respeta

dicha transición, la recompensa acompaña la formación de una implicación autorregulada, persistente y significativa.

3.3. Estado de flujo y calibración neurocognitiva de la dificultad educativa

El estado de flujo describe una experiencia de concentración intensa en la que acción, propósito y percepción de competencia mantienen una relación estrecha. En educación gamificada, dicha experiencia adquiere interés cuando la dificultad guarda correspondencia con las capacidades disponibles y permite avanzar mediante metas claras. Una tarea demasiado sencilla favorece desinterés; otra excesivamente exigente puede generar frustración. Entre ambos extremos existe una franja dinámica donde esfuerzo, dominio progresivo y participación encuentran un equilibrio pedagógicamente fértil.

La dificultad educativa no debería concebirse como una propiedad fija del ejercicio, pues depende también del conocimiento previo, la fatiga, la familiaridad con la interfaz y las estrategias disponibles. Dos estudiantes frente a una misión idéntica pueden experimentar demandas cognitivas muy distintas. Calibrar implica reconocer tal variabilidad y ajustar progresivamente la exigencia. El propósito consiste en preservar una tensión productiva, suficiente para movilizar recursos mentales, pero compatible con una percepción razonable de avance y competencia.

La gamificación adaptativa ofrece mecanismos para regular dicha tensión mediante modificaciones en reglas, niveles, apoyos o elementos lúdicos. Zourmpakis et al. (2023) describen la adaptación como una vía para responder a diferencias individuales y favorecer resultados motivacionales en educación científica. Bajo una perspectiva neurocognitiva, personalizar no equivale a facilitar permanentemente. La adaptación cobra sentido cuando identifica variaciones relevantes del desempeño y reorganiza las demandas

para mantener una relación formativa entre capacidad actual y exigencia próxima.

La calibración puede apoyarse en indicadores conductuales como precisión, tiempo de respuesta, frecuencia de errores, solicitud de ayudas y patrones de abandono. Cuando existen recursos neurotecnológicos, tales datos pueden complementarse con señales fisiológicas asociadas al esfuerzo mental o la activación. Ningún indicador aislado debería decidir la dificultad. La interpretación requiere integrar fuentes, reconocer variaciones individuales y evitar equivalencias automáticas entre activación cerebral, aprendizaje o disfrute, pues fenómenos semejantes pueden responder a procesos psicológicos muy diferentes entre sí.

Alcanzar flujo tampoco significa mantener al estudiante en una comodidad permanente. Aprender implica momentos de incertidumbre, error y reorganización conceptual que pueden interrumpir temporalmente la sensación de dominio. Una experiencia gamificada bien diseñada permite que dichas rupturas tengan sentido dentro de la progresión. Sailer y Homner (2020) encontraron efectos favorables de la gamificación sobre resultados cognitivos, motivacionales y conductuales, aunque con variaciones asociadas a características del diseño, evidencia que desaconseja atribuir beneficios automáticos al formato lúdico.

La retroalimentación desempeña una función reguladora dentro de la calibración porque permite interpretar la distancia entre desempeño actual y meta. Cuando informa con precisión, ayuda a decidir si conviene perseverar, cambiar estrategia o solicitar apoyo. Alsadoon et al. (2022) encontraron mejoras en logro, motivación y satisfacción dentro de un ambiente gamificado. Tales resultados adquieren mayor interés cuando la recompensa comunica progreso real y no encubre una dificultad mal ajustada mediante estímulos atractivos pero pedagógicamente poco informativos.

Una calibración neurocognitiva responsable necesita considerar también la temporalidad del esfuerzo. La misma exigencia puede resultar estimulante al inicio y agotadora después de una secuencia prolongada de decisiones. Por ello, los sistemas adaptativos deberían atender tendencias, no reaccionar precipitadamente ante cada error. Una respuesta incorrecta puede expresar distracción momentánea; una serie persistente quizá indique sobrecarga o comprensión insuficiente. Distinguir patrones permite ajustar apoyos y dificultad sin interrumpir innecesariamente la continuidad de la experiencia de aprendizaje.

La personalización adaptativa plantea además una cuestión pedagógica delicada: quién conserva el control sobre la progresión. Si el sistema modifica continuamente las tareas sin hacer comprensibles sus criterios, el estudiante puede perder capacidad para interpretar su propio desempeño. Zourmpakis et al. (2023) destacan el interés de adaptar elementos de juego según características del alumnado. Desde una perspectiva formativa, conviene acompañar tal adaptación con oportunidades de elección, autorregulación y comprensión de las metas que orientan cada ajuste.

El flujo educativo adquiere mayor profundidad cuando la concentración intensa conduce hacia aprendizajes relevantes y no meramente hacia permanencia prolongada en la plataforma. Un sistema puede mantener interacción constante mediante estímulos frecuentes sin promover elaboración conceptual. Por ello, el tiempo de participación necesita interpretarse junto con calidad de decisiones, transferencia y comprensión. Sailer y Homner (2020) muestran que la gamificación puede favorecer diferentes dominios del aprendizaje, aunque sus efectos dependen de múltiples condiciones metodológicas y pedagógicas.

Calibrar la dificultad significa, en consecuencia, diseñar una relación sensible entre exigencia, capacidad, retroalimentación y autonomía. La neurotecnología puede enriquecer dicha tarea

aportando señales adicionales sobre variaciones del esfuerzo, siempre que su lectura permanezca subordinada al propósito educativo. El flujo deja entonces de ser una meta ornamental para convertirse en una referencia de diseño: mantener al estudiante intelectualmente comprometido, capaz de reconocer su progreso y dispuesto a afrontar niveles crecientes de complejidad con sentido formativo.

3.4. Curiosidad, novedad y sorpresa como activadores de la participación cognitiva

La curiosidad constituye una disposición cognitiva que orienta la búsqueda de información cuando existe una brecha entre lo conocido y aquello que todavía reclama explicación. En actividades gamificadas, dicha disposición puede activarse mediante preguntas abiertas, pistas parciales o situaciones que interrumpen expectativas sin volver confusa la tarea. Su potencia educativa reside en movilizar una búsqueda con propósito. El estudiante participa porque necesita completar una relación, comprobar una hipótesis o comprender aquello que momentáneamente permanece incompleto.

La novedad cumple una función distinta, aunque cercana. Un cambio inesperado en la representación, la narrativa o la mecánica puede renovar recursos atencionales y ampliar la disposición a interactuar. Sin embargo, convertir cada momento en novedad reduce rápidamente su capacidad de atraer. Lampropoulos y Kinshuk (2024), al revisar experiencias educativas con realidad virtual y gamificación, describen beneficios asociados con participación, motivación y aprendizaje, aunque advierten una marcada heterogeneidad entre diseños, tecnologías, poblaciones y resultados reportados.

La sorpresa introduce una ruptura entre expectativa y acontecimiento. Bien utilizada, obliga a revisar predicciones y puede abrir un espacio fértil para elaborar explicaciones. Una

respuesta contraintuitiva, una consecuencia narrativa inesperada o un resultado experimental discrepante adquieren valor cuando conducen al contenido. La sorpresa pierde función educativa cuando busca impacto por sí misma. Su intensidad debe guardar proporción con la tarea, pues una interrupción espectacular puede desplazar aquello que pretendía volver intelectualmente visible al estudiante.

Curiosidad, novedad y sorpresa adquieren mayor fuerza cuando operan como puertas de entrada hacia preguntas relevantes. No basta con captar la mirada; importa transformar la orientación en actividad mental sostenida por inferencias, comparaciones y decisiones. Alsadoon et al. (2022) encontraron mejoras en motivación, satisfacción y rendimiento dentro de un ambiente gamificado. Tales hallazgos permiten considerar que la participación favorecida por recursos lúdicos puede acompañar resultados académicos cuando existe correspondencia entre diseño, actividad y propósito formativo.

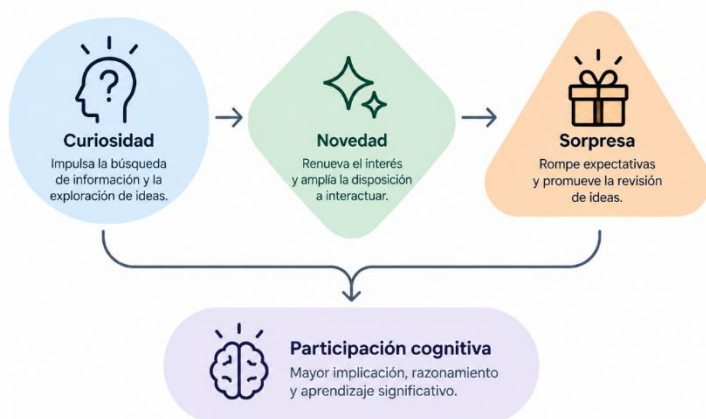
Desde una perspectiva cognitiva, la curiosidad puede entenderse como una tensión productiva frente a información incompleta. La tarea educativa necesita ofrecer suficientes elementos para que el estudiante formule anticipaciones, pero reservar alguna pieza capaz de mantener abierta la búsqueda. Demasiada evidencia elimina el interrogante; demasiado vacío impide construirlo. En gamificación, pistas graduadas, narrativas fragmentadas y problemas encadenados permiten administrar esa distancia, siempre que resolver la incertidumbre exija razonamiento y no dependa meramente del azar operativo.

La adaptación puede contribuir a regular el valor de la novedad según las respuestas del alumnado. Repetir idénticos estímulos ante perfiles diversos tiende a producir experiencias desiguales: aquello que despierta interés en una persona puede resultar previsible para otra. Zourmpakis et al. (2023) analizaron la gamificación adaptativa en educación científica y destacaron la

relevancia de ajustar elementos lúdicos a características individuales. La personalización, por tanto, puede modular variedad y oportunidad sin convertirlas en ornamentación constante.

Figura 9

Activadores cognitivos de la participación



También conviene atender el momento en que aparece una sorpresa. Presentada antes de contar con conocimientos, puede generar desconcierto; introducida cuando ya existe una expectativa razonada, produce contraste y favorece revisión conceptual. El efecto pedagógico nace precisamente de esa discrepancia interpretable. Una simulación que contradice una predicción previa puede impulsar preguntas más profundas que una animación inesperada sin relación disciplinar. Diseñar sorpresa exige preparar aquello que será quebrado y ofrecer después recursos para reconstruir significado.

La realidad virtual amplía las posibilidades para producir encuentros con información desde perspectivas poco habituales, pero su riqueza sensorial requiere disciplina pedagógica.

Lampropoulos y Kinshuk (2024) documentan una expansión considerable de investigaciones que articulan gamificación y realidad virtual en educación, junto con resultados favorables en diversas dimensiones. Aun con tales posibilidades, mayor estimulación no equivale necesariamente a mayor elaboración. La participación cognitiva depende de aquello que el estudiante hace mentalmente con la experiencia que recibe.

Una participación cognitivamente valiosa deja rastros en preguntas formuladas, hipótesis revisadas, conexiones construidas y decisiones argumentadas. Por ello, medir clics, permanencia o frecuencia de interacción ofrece información insuficiente para valorar curiosidad educativa. Conviene observar si el estudiante busca explicaciones adicionales, contrasta alternativas o modifica una interpretación previa. La sorpresa puede iniciar el movimiento, mientras la curiosidad sostiene la indagación. Entre ambas, la novedad funciona mejor cuando renueva perspectivas sin fragmentar el hilo conceptual de aprendizaje.

Dentro del ecosistema gamificado, curiosidad, novedad y sorpresa operan mejor como moduladores de la participación que como fines independientes. Su diseño requiere medida, oportunidad y vinculación con preguntas que merezcan ser perseguidas. Cuando una experiencia despierta interés y ofrece medios para transformarlo en indagación, el estudiante pasa de reaccionar ante estímulos a construir significado. Esa transición prepara una comprensión profunda del engagement: participar implica invertir recursos afectivos y conductuales en una actividad reconocida como valiosa.

3.5. Fatiga atencional y regulación de la intensidad estimular en experiencias gamificadas

La fatiga atencional aparece cuando mantener el esfuerzo cognitivo durante periodos prolongados comienza a deteriorar la precisión, la vigilancia o la disposición para continuar. En

experiencias gamificadas, una abundancia de señales, recompensas, sonidos y cambios visuales puede intensificar dicha carga aunque la actividad resulte atractiva. El problema no reside en la estimulación misma, sino en su densidad y duración. Regularla requiere reconocer que la atención fluctúa y necesita momentos de recuperación durante el aprendizaje significativo.

La intensidad estimular puede entenderse como la cantidad, frecuencia y prominencia de señales que compiten por recursos perceptivos y cognitivos. Una interfaz cargada de animaciones, alertas y marcadores exige filtrar información continuamente, tarea que puede volverse costosa con el paso del tiempo. Scharinger et al. (2023) combinaron electroencefalografía y seguimiento ocular para estudiar una tarea de memoria de trabajo gamificada, mostrando que una experiencia más atractiva no garantiza mejoras paralelas en rendimiento ni indicadores fisiológicos.

La fatiga tampoco equivale necesariamente a aburrimiento. Un estudiante puede permanecer interesado y, al mismo tiempo, mostrar menor capacidad para discriminar señales relevantes, controlar errores o sostener decisiones complejas. Tal distinción resulta importante porque los sistemas gamificados suelen interpretar la permanencia como evidencia de compromiso. Sin embargo, continuar interactuando puede responder a recompensas, hábitos o presión por completar una misión. Evaluar calidad de respuesta permite advertir deterioros que el tiempo de uso no revela plenamente.

Desde una perspectiva neurocognitiva, regular la intensidad requiere observar patrones temporales antes que respuestas aisladas. Variaciones en precisión, latencia, movimientos oculares o actividad electrofisiológica pueden aportar indicios sobre cambios en el esfuerzo. Hung y Li (2024) registraron diferencias atencionales mediante EEG durante diversas actividades de una clase universitaria combinada. Tales variaciones

recuerdan que la demanda mental cambia durante una sesión y que cualquier ajuste pedagógico necesita considerar la naturaleza de la actividad realizada en curso.

Las pausas cumplen una función reguladora cuando interrumpen secuencias extensas sin romper el sentido de la experiencia. No necesitan convertirse en periodos prolongados de inactividad; pueden adoptar la forma de transiciones breves, momentos reflexivos o cambios hacia tareas de menor exigencia perceptiva. Una pausa bien ubicada permite recuperar recursos y reorganizar información. En cambio, interrupciones arbitrarias pueden fragmentar el aprendizaje. La regulación temporal exige atender ritmo, complejidad acumulada y duración de cada episodio interactivo cognitivo.

También conviene graduar la estimulación según la función pedagógica de cada elemento. Un sonido puede señalar un error relevante; una animación puede representar progreso; un cambio visual puede anunciar una nueva regla. Cuando múltiples recursos comunican simultáneamente información secundaria, aumenta la competencia perceptiva. Scharinger et al. (2023) observaron que gamificar una tarea n-back mejoró aspectos de la experiencia subjetiva, aunque los beneficios no se extendieron de manera uniforme hacia desempeño, esfuerzo percibido y medidas neurofisiológicas.

La adaptación dinámica ofrece posibilidades para responder a señales de cansancio sin reducir automáticamente la dificultad académica. Puede disminuir estímulos periféricos, espaciar notificaciones, simplificar transiciones o introducir intervalos de recuperación mientras conserva la exigencia conceptual. Anguera et al. (2023) estudiaron un videojuego adaptativo que integraba componentes cognitivos y físicos en población infantil, encontrando mejoras atencionales después del entrenamiento. La adaptación adquiere valor cuando regula la

forma de interacción sin empobrecer el contenido que debe aprenderse.

Regular la intensidad también implica reconocer diferencias individuales. La tolerancia frente a estímulos simultáneos varía según experiencia previa, edad, estado de alerta y familiaridad con la tarea. Por ello, una configuración uniforme puede resultar insuficiente para grupos heterogéneos. Los datos neurotecnológicos pueden complementar observaciones conductuales, pero requieren interpretación prudente. Una señal fisiológica asociada con mayor esfuerzo no determina por sí misma fatiga, pues puede acompañar concentración productiva, novedad o incremento temporal de la demanda cognitiva.

Un diseño sensible a la fatiga evita confundir activación permanente con participación. Mantener cada segundo ocupado mediante recompensas, destellos o decisiones rápidas puede producir una experiencia intensa, aunque pobre en espacios para elaborar información. La participación cognitiva necesita variaciones de ritmo. Momentos de alta demanda pueden alternarse con otros destinados a integrar, revisar o anticipar. Esa modulación protege recursos atencionales y permite que la experiencia conserve interés sin depender de una escalada continua de estimulación.

La regulación de la intensidad estimular introduce, por tanto, una ética del diseño atencional. Gamificar no debería significar capturar indefinidamente la mirada, sino organizar condiciones para que el esfuerzo pueda sostenerse, disminuir y recuperarse de manera funcional. Anguera et al. (2023) muestran el potencial de intervenciones digitales adaptadas para favorecer capacidades atencionales. En educación, tal potencial requiere respetar límites cognitivos y convertir la tecnología en mediadora de ritmos compatibles con aprendizaje, bienestar y participación reflexiva.

3.6. Engagement neurocognitivo y permanencia del estudiante en ecosistemas digitales de aprendizaje

El engagement neurocognitivo alude a una implicación donde atención, emoción, esfuerzo y procesamiento activo convergen durante el aprendizaje. En ecosistemas digitales, permanecer conectado no equivale necesariamente a estar comprometido con una tarea. La permanencia adquiere valor educativo cuando refleja inversión mental, continuidad voluntaria y disposición para regresar después de una interrupción. Distinguir presencia de implicación permite interpretar con mayor precisión las huellas conductuales que dejan las plataformas y evita confundir actividad registrada con aprendizaje genuino.

La permanencia estudiantil se construye mediante experiencias que ofrecen razones para continuar, más allá de acumular tiempo de pantalla. Una secuencia gamificada puede favorecer continuidad cuando articula metas alcanzables, retroalimentación pertinente y oportunidades para tomar decisiones con consecuencias visibles. Ritzhaupt et al. (2021) encontraron efectos positivos de la gamificación sobre resultados afectivos y conductuales en educación, aunque la magnitud observada varió entre estudios. Tal variabilidad reclama interpretar el engagement como fenómeno dependiente del diseño pedagógico.

Desde una mirada neurocognitiva, el engagement puede reconocerse mediante patrones convergentes y no mediante una señal cerebral aislada. Cambios en activación, conducta, persistencia o calidad de respuesta adquieren significado cuando se relacionan con la tarea realizada. La lectura integrada resulta relevante en entornos digitales, donde abundan indicadores de registrar. Clics, accesos y minutos aportan trazas útiles, pero necesitan acompañarse de evidencias sobre comprensión, esfuerzo

estratégico y capacidad para mantener una participación orientada durante periodos significativos.

La personalización introduce una dimensión porque las mismas mecánicas no generan idéntica implicación en todos los estudiantes. Preferencias, metas y formas de participación modifican la recepción de insignias, narrativas, rankings o elecciones. Xiao y Hew (2024) compararon gamificación personalizada con una modalidad uniforme en aprendizaje en línea, atendiendo resultados motivacionales, conductuales y cognitivos. Su planteamiento refuerza la conveniencia de abandonar diseños indiferenciados cuando la plataforma dispone de información para ofrecer experiencias ajustadas a perfiles diversos.

Permanecer también implica atravesar momentos donde el interés disminuye sin abandonar la actividad. El engagement educativo posee fluctuaciones naturales y puede recuperarse mediante una meta cercana, una decisión significativa o una evidencia clara de progreso. Diseñar para una intensidad permanente resultaría poco realista y podría incrementar desgaste. Conviene favorecer ritmos donde concentración, participación y descanso formen una secuencia sostenible. La continuidad nace entonces de una relación con el aprendizaje, no de mantener una excitación ininterrumpida.

La conducta observable aporta una ventana para estudiar permanencia. Regresar voluntariamente, completar actividades fuera del horario previsto o distribuir el estudio durante varios días revela patrones diferentes de una conexión prolongada y pasiva. Zorrilla Pantaleón et al. (2021) analizaron estrategias de gamificación orientadas a fomentar tiempo de estudio fuera del aula en cursos de bases de datos. Su trabajo vincula diseño gamificado con conductas académicas que prolongan la implicación más allá de la sesión.

La permanencia cobra mayor significado cuando puede sostenerse sin dependencia de recompensas externas. A medida que avanza una experiencia, las mecánicas gamificadas deberían facilitar que el estudiante reconozca valor en sus progresos, decisiones y competencias desarrolladas. Ritzhaupt et al. (2021) muestran que los resultados afectivos y conductuales asociados con gamificación presentan efectos favorables. Sin embargo, convertir tales efectos en continuidad educativa requiere conectar participación inmediata con metas personales y capaces de conservar sentido temporal.

Los sistemas digitales permiten detectar trayectorias de participación con un nivel de detalle antes difícil de obtener. Frecuencia de acceso, secuencias de navegación, pausas, retornos y abandono de actividades pueden revelar cambios. Sin embargo, interpretar cada descenso como desmotivación conduce a diagnósticos pobres. Una pausa puede expresar autorregulación; un acceso breve, una consulta. La analítica adquiere utilidad cuando reconoce patrones longitudinales y los relaciona con evidencias evitando convertir cada huella digital en una conclusión psicológica automática.

La personalización del engagement requiere también transparencia y margen de elección. Si una plataforma modifica estímulos para prolongar permanencia sin que el estudiante comprenda la lógica adaptativa, la intervención puede aproximarse a estrategias de captura atencional. Xiao y Hew (2024) sitúan la personalización gamificada frente a enfoques uniformes, ofreciendo una base para pensar diferencias individuales en aprendizaje digital. Desde una perspectiva educativa, adaptar debería significar favorecer participación relevante, no maximizar indiscriminadamente minutos, clics o retornos.

El engagement neurocognitivo ofrece, en consecuencia, un puente entre participación inmediata y permanencia educativa. Su valor reside en comprender la continuidad como inversión de

recursos cognitivos, afectivos y conductuales alrededor de metas con significado. Un ecosistema gamificado maduro no busca retener por retener: procura que regresar tenga sentido. Cuando diseño, personalización y analítica convergen bajo criterios pedagógicos, la permanencia deja de ser una métrica superficial y pasa a expresar una relación autónoma con el aprendizaje.

Tabla 3

Procesos neurocognitivos y criterios pedagógicos en ecosistemas gamificados de aprendizaje

Dimensión abordada	Integración pedagógica y neurocognitiva
Atención sostenida, selectiva y alternante	La gamificación puede organizar demandas que favorezcan permanencia del foco, discriminación de información relevante y transiciones funcionales entre tareas. El diseño requiere jerarquizar estímulos, regular cambios y vincular cada demanda atencional con propósitos formativos.
Motivación intrínseca y extrínseca	Puntos, insignias, niveles y reconocimientos adquieren valor cuando acompañan autonomía, progreso y significado personal. Las recompensas externas pueden iniciar o sostener conductas académicas, pero conviene evitar que desplacen el interés por aprender o conviertan la participación en una relación meramente transaccional.
Flujo y calibración de la dificultad	El equilibrio dinámico entre capacidades y exigencia favorece concentración, persistencia y percepción de dominio. Los sistemas adaptativos pueden modificar dificultad, apoyos y ritmo según patrones de desempeño, preservando una tensión productiva sin eliminar el esfuerzo intelectual necesario para aprender.
Curiosidad, novedad y sorpresa	Preguntas abiertas, información incompleta, acontecimientos inesperados y variaciones pertinentes pueden activar búsqueda, inferencia y revisión conceptual. Su eficacia depende de mantener vinculación con el contenido académico y evitar una estimulación ornamental orientada principalmente a captar la mirada.
Fatiga atencional e intensidad estimular	La acumulación de señales visuales, sonidos, recompensas y transiciones puede incrementar carga cognitiva y deteriorar progresivamente la vigilancia. Pausas funcionales, variaciones de ritmo y reducción de estímulos periféricos

Dimensión abordada	Integración pedagógica y neurocognitiva
	permiten proteger recursos atencionales sin empobrecer la exigencia conceptual.
Engagement neurocognitivo y permanencia	La permanencia adquiere significado educativo cuando expresa inversión cognitiva, afectiva y conductual alrededor de metas relevantes. Tiempo de conexión, accesos o clics requieren interpretarse junto con calidad de respuesta, persistencia, retorno voluntario, autorregulación y comprensión alcanzada.
Neurotecnología, personalización y analítica	EEG, seguimiento ocular y trazas conductuales ofrecen indicadores complementarios para estudiar variaciones de atención, esfuerzo y participación. Su interpretación demanda prudencia metodológica, integración de múltiples evidencias y criterios pedagógicos que eviten convertir una señal fisiológica o digital aislada en diagnóstico psicológico.
Principio integrador del capítulo	Un ecosistema gamificado pedagógicamente responsable articula atención, motivación, dificultad, estimulación y engagement sin perseguir interacción permanente. La tecnología adquiere valor cuando favorece experiencias adaptativas, sostenibles y significativas, respetando límites cognitivos y promoviendo autonomía, aprendizaje y participación reflexiva.

Nota. La tabla articula los ejes desarrollados en los apartados 3.1–3.6 desde una perspectiva neurocognitiva y pedagógica. En consonancia con APA 7, el número se presenta en negrita, el título en cursiva y la nota se ubica inmediatamente debajo de la tabla.

Capítulo IV

Neurodatos, inteligencia artificial y analítica del comportamiento gamificado

La experiencia gamificada deja tras de sí una huella que excede puntuaciones, aciertos y tiempos de respuesta. Mientras una persona aprende, también despliega variaciones atencionales, movimientos oculares, respuestas fisiológicas y patrones de interacción que pueden convertirse en datos interpretables. El interés contemporáneo por tales registros abre una perspectiva especialmente fértil para la investigación educativa. Ya no basta con conocer el resultado obtenido; interesa comprender los procesos que acompañan la participación, la persistencia y el compromiso cognitivo.

Los neurodatos amplían la mirada sobre procesos que durante décadas fueron estudiados principalmente mediante observación, cuestionarios o rendimiento académico. Electroencefalografía, seguimiento ocular y sensores portátiles permiten registrar dimensiones complementarias de la actividad humana durante tareas educativas. Khosravi et al. (2022) describen el potencial de los dispositivos vestibles para apoyar el aprendizaje mediante información fisiológica y conductual. La cuestión relevante, sin embargo, reside en otorgar significado pedagógico a señales cuya interpretación nunca debería separarse de la actividad realizada.

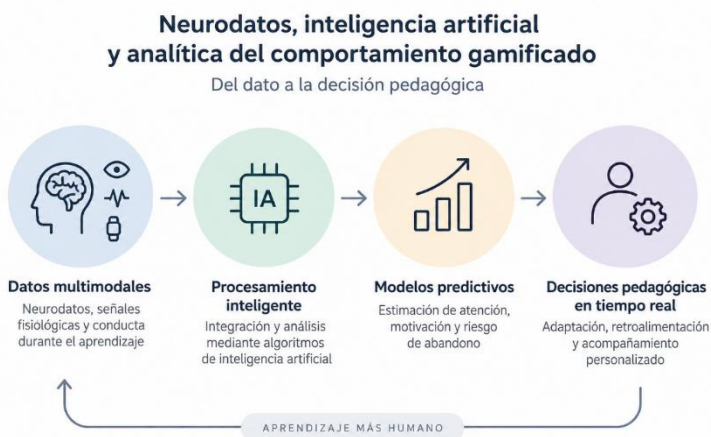
La electroencefalografía aporta una temporalidad particularmente sensible para estudiar variaciones vinculadas con atención y esfuerzo cognitivo. Scharinger et al. (2023) combinaron EEG y seguimiento ocular al analizar una tarea de memoria de trabajo gamificada, mostrando el interés de relacionar mediciones fisiológicas con indicadores conductuales y experiencia subjetiva. La gamificación puede modificar la vivencia de una tarea sin producir transformaciones equivalentes en cada medida registrada. Tal diferencia obliga a abandonar lecturas lineales entre activación cerebral, rendimiento y compromiso.

La mirada aporta otra capa de información. Fijaciones, desplazamientos y permanencias visuales permiten reconstruir la

relación del estudiante con contenidos, retroalimentaciones y componentes interactivos. Pattemore y Gilabert (2023) emplearon seguimiento ocular para estudiar el compromiso cognitivo con retroalimentación dentro de un juego digital de aprendizaje lingüístico. La relevancia metodológica radica en observar procesos mientras ocurren. Mirar, atender y aprender no son equivalentes, aunque su análisis conjunto permite formular interpretaciones educativas más cuidadosas sobre la interacción.

Figura 10

Del neurodato a la decisión pedagógica



Junto con señales neuroeléctricas y visuales, la actividad fisiológica registrada mediante wearables incorpora información sobre activación autonómica y movimiento corporal. Tales mediciones adquieren interés cuando el aprendizaje combina exigencias cognitivas, estímulos gamificados y participación física. Anguera et al. (2023) estudiaron una intervención infantil basada en un videojuego cognitivo y físico orientado al fortalecimiento atencional. Trabajos de tal naturaleza muestran una frontera educativa donde cuerpo, cognición y tecnología pueden estudiarse

mediante registros sincronizados sin reducir la experiencia a indicadores aislados.

La abundancia de señales plantea una pregunta inevitable: ¿qué hacer con datos producidos a velocidades, escalas y formatos tan diferentes? La analítica multimodal ofrece un marco para establecer relaciones entre fuentes heterogéneas. Ouhaichi et al. (2023) identifican una creciente diversidad de modalidades y métodos dentro de la investigación sobre analítica multimodal del aprendizaje. El valor científico no proviene de reunir grandes volúmenes de información, sino de construir relaciones interpretables entre registros, procesos educativos y decisiones pedagógicas justificadas.

En ese punto, la inteligencia artificial adquiere una función articuladora. Los algoritmos pueden reconocer regularidades difíciles de advertir mediante inspección humana, relacionar secuencias temporales y estimar probabilidades asociadas con determinados comportamientos. Vidanaralage et al. (2022) plantearon un marco basado en inteligencia artificial para evaluar aprendizaje gamificado mediante análisis de esquemas y emociones. La capacidad computacional amplía las posibilidades analíticas, pero también reclama cautela: una correlación predictiva carece de valor educativo cuando se transforma apresuradamente en explicación psicológica.

La personalización constituye una derivación especialmente relevante. Ajustar metas, retroalimentaciones o dinámicas según patrones de participación puede favorecer experiencias sensibles a diferencias individuales. Xiao y Hew (2024) compararon gamificación personalizada y gamificación uniforme en aprendizaje completamente en línea, atendiendo resultados motivacionales, conductuales y cognitivos. Paralelamente, González-González et al. (2023) propusieron una arquitectura de chatbot para personalización gamificada. Ambas líneas desplazan la discusión desde recompensas generalizadas hacia decisiones

adaptativas sustentadas en características y respuestas del estudiante.

La capacidad predictiva también permite reconocer señales vinculadas con desconexión progresiva y riesgo de abandono. De Oliveira et al. (2021) documentan el aporte de learning analytics para identificar tempranamente estudiantes en riesgo y orientar acciones preventivas en educación superior. Sin embargo, anticipar una trayectoria no equivale a determinarla. Una probabilidad debe abrir posibilidades de acompañamiento, nunca convertirse en etiqueta. La analítica educativa alcanza legitimidad cuando favorece intervenciones proporcionadas, transparentes y revisables que preservan la autonomía personal.

A lo largo del capítulo, neurodatos, inteligencia artificial y comportamiento gamificado convergen alrededor de una misma preocupación: convertir mediciones complejas en conocimiento pedagógicamente responsable. La posibilidad de interpretar atención, motivación y participación mientras ocurre el aprendizaje modifica la relación entre evidencia y decisión educativa. El horizonte no apunta hacia sistemas que decidan por las personas, sino hacia herramientas capaces de acompañar mejores decisiones. Allí reside el verdadero valor de una analítica neurocognitiva orientada al aprendizaje humano.

4.1. Electroencefalografía y registro de patrones atencionales durante experiencias gamificadas

La electroencefalografía ofrece una vía privilegiada para observar variaciones atencionales mientras una persona participa en actividades gamificadas. Mediante electrodos ubicados sobre el cuero cabelludo, registra fluctuaciones eléctricas vinculadas con procesos cognitivos que cambian a lo largo de una tarea. Su valor reside en la resolución temporal, capaz de captar transiciones rápidas entre concentración, esfuerzo y dispersión. En gamificación, dicha sensibilidad permite relacionar momentos del

diseño interactivo con modificaciones neurofisiológicas registradas durante la participación del usuario.

El análisis electroencefalográfico suele considerar bandas de frecuencia asociadas con distintas demandas cognitivas, entre ellas theta y alfa. Más que traducir cada oscilación mediante equivalencias rígidas, conviene interpretar sus variaciones atendiendo a la tarea, la dificultad y el momento de medición. Scharinger et al. (2023) analizaron potencia theta y alfa durante versiones gamificadas y no gamificadas de una tarea n-back, combinando EEG con seguimiento ocular para contrastar carga, atención y experiencia subjetiva de los participantes.

Los resultados de Scharinger et al. (2023) aportan una advertencia: una experiencia percibida como más atractiva no necesariamente produce diferencias globales en rendimiento o carga fisiológica. La versión gamificada mejoró dimensiones subjetivas y afectivas, mientras los indicadores principales de EEG permanecieron semejantes entre condiciones. Sin embargo, análisis complementarios identificaron mayor potencia theta en electrodos parietales derechos, un hallazgo compatible con variaciones sutiles de concentración o esfuerzo durante la interacción gamificada, sin convertirlas en equivalencias universales.

Esa cautela interpretativa cobra importancia porque la atención no constituye un estado uniforme ni permanece estable durante una experiencia. Cambia ante estímulos, retroalimentaciones, metas, pausas, errores y recompensas. El EEG permite examinar dicha dinámica con granularidad temporal difícil de alcanzar mediante cuestionarios retrospectivos. En lugar de preguntar cuánto interés declaró una persona al terminar, el registro neurofisiológico permite localizar episodios de activación y contrastarlos con eventos del sistema, conservando la secuencia temporal de la interacción.

Los potenciales relacionados con eventos amplían esa lectura al vincular respuestas cerebrales con estímulos delimitados. Entre ellos, el componente P300 resulta útil cuando la actividad presenta metas, puntuaciones o retroalimentación. Watanabe y Naruse (2022) estudiaron su amplitud frente a niveles de puntuación objetivo y encontraron relaciones entre P300, la dificultad percibida y la motivación intrínseca. La medición ofrece una ventana para valorar la manera en que determinadas metas son procesadas neuralmente durante tareas educativas gamificadas.

Desde una perspectiva de diseño, registrar P300 permite estudiar si una meta resulta demasiado accesible, excesivamente exigente o suficientemente estimulante para mantener implicación. Watanabe y Naruse (2022) plantean que las diferencias individuales dificultan fijar una puntuación óptima idéntica para todos. El interés del EEG radica entonces en aportar evidencia complementaria para calibrar niveles de logro. No reemplaza la experiencia declarada ni el desempeño observable; los integra dentro de una lectura multimodal del comportamiento durante la actividad.

La utilidad educativa del EEG también depende de observar la atención en prácticas reales de aprendizaje. Tang et al. (2024) registraron niveles atencionales mediante dispositivos electroencefalográficos no invasivos en una clase universitaria de informática con modalidad combinada. Encontraron una relación positiva entre atención y ganancias de aprendizaje, y variaciones según la actividad. Las discusiones grupales presentaron niveles superiores frente a pruebas previas y exposiciones, mostrando que la organización pedagógica modula la respuesta atencional registrada.

Trasladada a experiencias gamificadas, dicha evidencia invita a evitar interpretaciones centradas en puntos, insignias o recompensas. El patrón atencional puede depender tanto del elemento lúdico como de la actividad cognitiva que lo contiene:

resolver, debatir, recordar, decidir o recibir retroalimentación. Por ello, el EEG adquiere mayor sentido cuando se sincroniza con marcas temporales del sistema. Cada cambio de fase puede compararse con la señal cerebral y con indicadores conductuales, generando una lectura del compromiso atencional.

La calidad del registro exige controlar artefactos derivados del parpadeo, movimiento ocular, tensión muscular y desplazamientos corporales, frecuentes cuando la interfaz promueve respuestas dinámicas. Requiere establecer líneas base, documentar la colocación de electrodos y justificar ventanas temporales analizadas. La señal carece de valor interpretativo cuando se separa del protocolo que la produjo. En investigación gamificada, rigor técnico y naturalidad deben equilibrarse para que la medición conserve validez sin transformar la actividad en una situación artificial.

En conjunto, la electroencefalografía convierte la atención en una dimensión observable que puede dialogar con métricas de desempeño, decisiones del juego y valoraciones subjetivas. Su aporte más fértil no consiste en etiquetar estados mentales de manera automática, sino en reconocer variaciones asociadas con momentos de una experiencia gamificada. Integrada con analítica computacional, la señal EEG puede alimentar modelos capaces de detectar patrones recurrentes, bajo criterios de transparencia, prudencia interpretativa y respeto por los neurodatos personales.

4.2. Eye tracking y análisis de trayectorias visuales en interfaces educativas interactivas

El seguimiento ocular permite estudiar la distribución de la atención mientras el estudiante interactúa con interfaces educativas gamificadas. A diferencia de medidas retrospectivas, registra fijaciones, movimientos sacádicos y permanencias sobre áreas de interés durante la actividad. Tales datos revelan qué elementos reciben atención, durante cuánto tiempo y en qué

secuencia. La mirada, sin embargo, no equivale a comprensión; funciona como un indicador conductual que adquiere significado al relacionarse con objetivos, respuestas y decisiones del usuario.

Figura 11

Trayectorias visuales y aprendizaje interactivo

Eye tracking en interfaces educativas interactivas

De la mirada al aprendizaje



En una interfaz interactiva, la trayectoria visual configura una huella temporal de búsqueda, selección y retorno hacia determinados estímulos. Los mapas de calor ofrecen una representación agregada de zonas atendidas, mientras los diagramas de movimiento visual permiten reconstruir secuencias entre fijaciones. Ambas técnicas aportan perspectivas distintas. Una muestra concentración espacial; la otra conserva el orden de desplazamiento. Su lectura conjunta ayuda a distinguir atención focalizada, búsqueda también dispersa y visitas vinculadas con demandas cognitivas específicas.

Pattemore y Gilabert (2023) emplearon seguimiento ocular para examinar el compromiso cognitivo con la retroalimentación dentro de un juego digital orientado al aprendizaje lingüístico. Su trabajo vincula medidas oculares con la atención dedicada a mensajes de feedback durante la interacción registrada. Desde una perspectiva educativa, tal aproximación resulta valiosa porque permite observar si la información destinada a corregir o guiar

recibe procesamiento visual suficiente, en vez de asumir su eficacia por haber aparecido en pantalla.

La duración de las fijaciones merece especial atención cuando se analizan materiales con textos, iconos, puntuaciones y señales de progreso. Una permanencia prolongada puede reflejar procesamiento cuidadoso, dificultad interpretativa o necesidad de verificar información; por ello, requiere cautela. Pattemore y Gilbert (2023) muestran la utilidad de relacionar conducta ocular y compromiso con la retroalimentación, recordando que mirar una zona no garantiza aprendizaje. La interpretación gana precisión cuando las medidas visuales se contrastan con respuestas posteriores.

Las experiencias gamificadas añaden estímulos capaces de competir por recursos visuales: marcadores, avatares, animaciones, recompensas y avisos conviven con el contenido pedagógico. El interés analítico radica en determinar si tales componentes orientan la mirada hacia información relevante o desvían recursos hacia elementos periféricos. Scharinger et al. (2023), al combinar eye tracking y EEG en una tarea n-back gamificada, mostraron el valor de integrar indicadores visuales y neurofisiológicos para estudiar atención, carga y experiencia subjetiva simultáneamente.

La pupila aporta otra capa de información. Sus cambios de diámetro pueden relacionarse con esfuerzo mental y activación, aunque responden a iluminación, contraste, fatiga y condiciones fisiológicas. Por esa razón, la pupilometría demanda procedimientos controlados y una interpretación prudente. En tareas gamificadas, comparar variaciones pupilares con momentos de dificultad, retroalimentación o logro puede enriquecer el análisis, siempre que el diseño experimental permita separar efectos visuales básicos de procesos vinculados con la demanda cognitiva del participante.

Una ventaja metodológica del seguimiento ocular reside en sincronizar la mirada con eventos registrados por la plataforma. Cada fijación puede asociarse con una pantalla, una respuesta, una recompensa o una transición de nivel. De tal correspondencia nace una cronología de la interacción. El análisis deja de limitarse a frecuencias generales y permite identificar secuencias recurrentes: consultar instrucciones, resolver, verificar puntuaciones y regresar al contenido. Tales patrones facilitan detectar puntos de fricción o atención innecesariamente fragmentada.

La analítica multimodal amplía todavía más la capacidad interpretativa. Ouhaichi et al. (2023), mediante un mapeo sistemático de investigaciones sobre analítica multimodal del aprendizaje, describen un campo donde diversas fuentes de datos permiten caracterizar procesos educativos digitales complejos desde perspectivas complementarias. Bajo dicha lógica, las trayectorias visuales pueden articularse con registros de interacción, señales fisiológicas y desempeño. La riqueza no proviene de acumular mediciones, sino de establecer relaciones teóricamente justificadas entre datos, conducta y aprendizaje.

El uso de datos oculares también plantea exigencias éticas particulares. Las trayectorias de mirada pueden revelar patrones conductuales que exceden la intención pedagógica inmediata y, combinadas con otras señales, aumentan la capacidad de inferencia sobre el usuario. Conviene delimitar propósitos, tiempos de conservación, niveles de acceso y procedimientos de anonimización antes de registrar información. La transparencia debe acompañar cada fase, especialmente cuando participan menores o cuando algoritmos automatizados transforman patrones visuales en perfiles de atención.

Dentro de la arquitectura analítica del aprendizaje gamificado, el eye tracking ocupa una posición intermedia entre la observación conductual y la inferencia computacional. Sus registros permiten reconstruir dónde se dirige la mirada y cuándo cambia,

pero requieren modelos interpretativos para adquirir sentido educativo. Al combinar trayectorias visuales, desempeño y eventos de interfaz, pueden identificarse regularidades útiles para adaptar recursos. Esa posibilidad abre paso al análisis mediante inteligencia artificial, sin convertir la mirada en diagnóstico automático.

4.3. Biosensores y wearables para el registro de respuestas psicofisiológicas durante el aprendizaje

Los biosensores portátiles amplían la observación del aprendizaje al registrar variaciones fisiológicas mientras la persona estudia, resuelve problemas o participa en dinámicas gamificadas. Frecuencia cardíaca, actividad electrodérmica, temperatura periférica y movimiento corporal ofrecen señales vinculadas con activación, esfuerzo y regulación. Su principal aporte reside en acompañar la experiencia durante periodos prolongados, fuera de laboratorios altamente controlados. La proximidad con situaciones educativas habituales favorece registros continuos, aunque exige interpretar cada señal con prudencia metodológica y pedagógica.

La expansión de relojes inteligentes, bandas torácicas, pulseras y sensores textiles ha reducido parte de la distancia entre medición fisiológica y práctica educativa. Khosravi et al. (2022) describen aplicaciones de sensores vestibles orientadas al fortalecimiento del aprendizaje universitario mediante información fisiológica y conductual. Tal perspectiva desplaza el interés desde mediciones puntuales hacia series temporales capaces de acompañar cambios durante una sesión, una actividad colaborativa o una secuencia de tareas con distintos niveles de exigencia cognitiva.

Entre las señales disponibles, la actividad electrodérmica permite registrar cambios en la conductancia de la piel relacionados con activación autonómica. Su sensibilidad resulta atractiva para estudiar momentos de tensión, novedad, recompensa o esfuerzo, pero una elevación no identifica por sí misma una emoción

determinada. La interpretación requiere vincular marcas temporales, eventos pedagógicos y otras medidas. En experiencias gamificadas, una respuesta intensa puede acompañar entusiasmo, frustración o presión competitiva, según la situación vivida por cada participante.

La frecuencia cardíaca y su variabilidad aportan otra vía para examinar procesos de activación y regulación durante el aprendizaje. Los intervalos entre latidos cambian de acuerdo con múltiples factores fisiológicos, cognitivos y ambientales, de modo que cualquier lectura educativa necesita controles. Khosravi et al. (2022) señalan el potencial de tecnologías vestibles para apoyar experiencias formativas mediante mediciones. Su utilidad aumenta cuando los datos fisiológicos se relacionan con desempeño, pausas, dificultad percibida y eventos de interacción.

El movimiento también constituye información relevante, especialmente cuando aprender implica desplazarse, manipular objetos o responder físicamente a consignas digitales. Acelerómetros y giroscopios integrados en dispositivos portátiles permiten registrar intensidad, orientación y cambios de movimiento con escasa interferencia. Anguera et al. (2023) evaluaron un videojuego que integraba componentes cognitivos y físicos para favorecer la atención infantil. La combinación muestra que actividad corporal y demanda mental pueden articularse dentro de propuestas digitales diseñadas con objetivos formativos definidos y seguimiento registrado.

Cuando una experiencia gamificada incorpora movimiento, la respuesta psicofisiológica deja de interpretarse adecuadamente mediante una señal aislada. El incremento cardíaco puede deberse al esfuerzo físico, a la excitación emocional o a ambos procesos. Algo semejante ocurre con la conductancia cutánea. Por ello, sincronizar acelerometría, frecuencia cardíaca y eventos de la plataforma ayuda a distinguir fuentes probables de

variación. La lectura adquiere mayor precisión cuando cada cambio fisiológico se contrasta con la secuencia de acciones realizadas.

La continuidad del registro representa una ventaja de los wearables, pero también produce volúmenes de datos que requieren limpieza, segmentación y criterios analíticos explícitos. Señales perdidas, contacto deficiente con la piel, movimiento excesivo o diferencias entre dispositivos pueden alterar las mediciones. Antes de inferir estados de atención o motivación, conviene evaluar la calidad de cada serie temporal. La tecnología facilita observar mucho; convertir ese caudal en conocimiento educativo demanda decisiones estadísticas y teóricas cuidadosamente justificadas.

Desde la analítica multimodal, los biosensores adquieren mayor valor cuando dialogan con otras fuentes de información. Ouhaichi et al. (2023) documentan una integración de modalidades heterogéneas para estudiar procesos de aprendizaje desde dimensiones. Registros fisiológicos, acciones digitales, rendimiento y datos observacionales pueden sincronizarse para identificar regularidades difíciles de percibir mediante una fuente aislada. La integración, sin embargo, requiere preguntas claras: acumular variables carece de utilidad cuando no existe una relación conceptual que oriente su interpretación.

El carácter íntimo de los datos fisiológicos obliga a establecer límites éticos antes de cualquier aplicación educativa. Una pulsera cotidiana puede producir registros capaces de revelar rutinas, niveles de activación o patrones individuales. El consentimiento debe explicar qué se mide, con qué propósito, durante cuánto tiempo y quién tendrá acceso. Conviene restringir inferencias automatizadas que conviertan variaciones corporales en etiquetas sobre motivación o capacidad, pues la fisiología humana admite múltiples interpretaciones y cambia entre personas.

La incorporación de biosensores y wearables transforma la analítica en una práctica capaz de seguir procesos corporales a medida que ocurre el aprendizaje. Su aporte no reside en traducir cada variación fisiológica en una emoción inequívoca, sino en relacionar señales con acciones, demandas y resultados. Cuando tales registros se integran mediante modelos computacionales, aparece una base fértil para reconocer patrones. La inteligencia artificial puede ampliar dicha lectura, siempre bajo criterios de trazabilidad, proporcionalidad y responsabilidad.

4.4. Inteligencia artificial para la interpretación multimodal de neurodatos y datos conductuales

La inteligencia artificial amplía el valor analítico de los neurodatos cuando permite relacionar señales fisiológicas, registros visuales y acciones ejecutadas durante experiencias gamificadas. Su aporte no reside en atribuir significados automáticos a cada medición, sino en reconocer configuraciones temporales que serían difíciles de advertir mediante observación convencional. Al reunir fuentes heterogéneas, los modelos computacionales pueden representar variaciones de atención, activación y participación, siempre que las inferencias permanezcan vinculadas con preguntas educativas definidas con precisión analítica.

La interpretación multimodal requiere algo más que acumular datos procedentes de distintos dispositivos. Cada modalidad posee escalas temporales, niveles de ruido y significados analíticos diferentes, por lo que su integración demanda procesos de sincronización, normalización y selección de variables. Ouhaichi et al. (2023) describen un campo de analítica multimodal actual del aprendizaje caracterizado por combinar diversas fuentes para comprender procesos educativos complejos. La inteligencia artificial facilita dicha articulación mediante representaciones capaces de relacionar patrones complementarios.

Una arquitectura analítica puede recibir series electroencefalográficas, trayectorias oculares, respuestas psicofisiológicas y eventos registrados por una plataforma. Antes del aprendizaje automático, tales señales requieren depuración y segmentación según episodios pedagógicamente significativos. Una recompensa, un error o un cambio de nivel pueden funcionar como marcas temporales para organizar la información. A partir de allí, los algoritmos comparan secuencias y estiman asociaciones entre patrones fisiológicos, conducta observable y desempeño, evitando confundir coincidencias estadísticas con relaciones educativas relevantes.

El aprendizaje supervisado permite entrenar modelos cuando existen categorías definidas, como niveles de participación o tipos de respuesta. Sin embargo, la calidad de la predicción depende de etiquetas y muestras representativas. En cambio, técnicas no supervisadas pueden agrupar patrones sin categorías previas y revelar perfiles recurrentes de interacción. Ninguna estrategia elimina la necesidad de interpretación humana. Los resultados adquieren valor pedagógico cuando investigadores y docentes examinan su pertinencia frente a evidencias provenientes de varias fuentes.

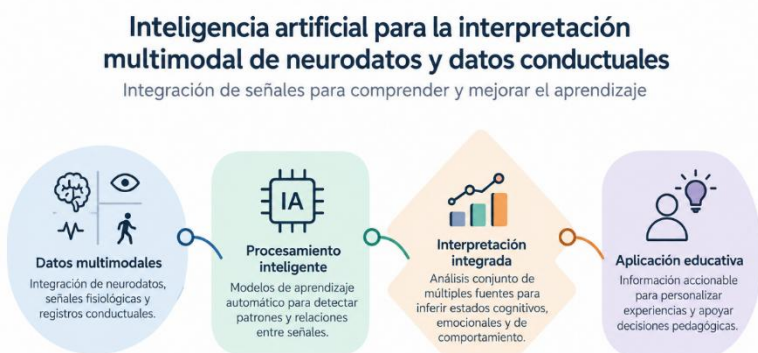
Vidanaralage et al. (2022) propusieron un marco multidisciplinario basado en inteligencia artificial para valorar aprendizaje gamificado mediante video, combinando análisis de esquemas y emociones. Su planteamiento ilustra una tendencia relevante: integrar información cognitiva y afectiva para construir interpretaciones más amplias de la experiencia. En lugar de reducir el aprendizaje a una puntuación, la modelización puede relacionar respuestas emocionales, organización conceptual y desempeño, ofreciendo una representación más rica de los procesos desarrollados durante materiales audiovisuales gamificados.

La fusión multimodal puede realizarse en diferentes momentos del procesamiento. Una estrategia combina variables

antes de entrenar el modelo; otra procesa cada modalidad por separado y reúne posteriormente sus resultados. La elección depende de la pregunta, la calidad de las señales y la cantidad de datos disponibles. Ouhaichi et al. (2023) muestran que la heterogeneidad metodológica ocupa un lugar relevante en la analítica multimodal, razón por la cual comparar resultados exige describir procedimientos con precisión.

Figura 12

Interpretación multimodal mediante inteligencia artificial



La personalización constituye una aplicación especialmente cercana a la gamificación educativa. González-González et al. (2023) presentan una arquitectura de chatbot orientada a personalizar componentes gamificados según características y comportamiento del estudiante. Desde una perspectiva multimodal, modelos semejantes podrían incorporar indicadores provenientes de diversas fuentes para ajustar retroalimentación, dificultad o ritmo. El propósito pedagógico debe guiar cualquier adaptación: modificar una experiencia porque el algoritmo detecta un patrón carece de sentido si no existe beneficio formativo verificable.

Los modelos adaptativos también enfrentan el riesgo de convertir probabilidades en etiquetas permanentes. Un patrón

asociado con menor atención durante una sesión no define una característica estable de la persona. Las respuestas cambian por fatiga, interés, dificultad, ambiente y múltiples factores de capturar simultáneamente. Por ello, las predicciones deberían expresarse con grados de incertidumbre y revisarse conforme llegan nuevos datos. La inteligencia artificial resulta más útil como apoyo interpretativo que como autoridad diagnóstica sobre estudiantes.

Otro asunto relevante concierne a la explicabilidad. Cuando un sistema recomienda alterar una meta, ofrecer ayuda o modificar una recompensa, docentes y estudiantes deberían conocer las razones que sustentan la decisión. Los modelos opacos pueden alcanzar rendimiento predictivo y, aun con ello, resultar poco apropiados para decisiones educativas sensibles. Trazabilidad, documentación y evaluación de sesgos permiten examinar qué variables influyen en las inferencias y si determinadas poblaciones reciben adaptaciones injustificadamente distintas durante experiencias de aprendizaje.

La interpretación multimodal mediante inteligencia artificial abre una etapa donde neurodatos y conducta pueden analizarse como procesos, no como mediciones independientes. Su valor dependerá de combinar rigor, fundamento pedagógico y límites éticos desde el diseño. La meta no consiste en anticipar reacciones del estudiante, sino en producir información útil para comprender y mejorar experiencias gamificadas. A partir de esa base, la analítica puede orientar decisiones adaptativas sin reducir la complejidad humana a un perfil algorítmico.

4.5. Modelos predictivos de atención, motivación y abandono en sistemas gamificados

Los modelos predictivos permiten anticipar variaciones de atención, motivación y riesgo de abandono mediante patrones derivados de la actividad registrada en sistemas gamificados. Frecuencia de acceso, duración de sesiones, respuestas correctas,

pausas, progresión y uso de recompensas conforman series temporales con valor analítico. Al relacionarlas con resultados posteriores, los algoritmos estiman probabilidades que pueden orientar intervenciones tempranas. Su función pedagógica consiste en advertir tendencias relevantes, no en convertir predicciones estadísticas en destinos inevitables para estudiantes.

La predicción de la atención requiere observar cambios a lo largo del tiempo, pues una disminución puntual carece de significado suficiente para determinar desconexión. Variables conductuales y neurofisiológicas pueden combinarse con indicadores de interacción para identificar secuencias asociadas con pérdida de concentración. Ouhaichi et al. (2023) muestran que la analítica multimodal reúne fuentes heterogéneas capaces de representar dimensiones complementarias del aprendizaje. Esa integración permite construir modelos sensibles a variaciones que una métrica aislada difícilmente podría captar.

La motivación presenta una dificultad adicional porque no permanece visible de manera directa en los registros digitales. Persistencia, elección voluntaria de actividades, retorno a tareas y respuesta ante metas pueden actuar como indicadores indirectos. Sin embargo, requieren interpretación teórica antes de incorporarse a cualquier algoritmo. Una sesión prolongada podría reflejar compromiso o dificultad excesiva. Por ello, los modelos predictivos necesitan combinar señales, considerar su evolución temporal y evitar equivalencias rígidas entre una conducta observable y una disposición motivacional específica.

La personalización gamificada ofrece una vía para utilizar predicciones sin reducirlas a mecanismos de vigilancia. Xiao y Hew (2024) compararon gamificación personalizada con una modalidad uniforme en aprendizaje completamente en línea, examinando resultados motivacionales, conductuales y cognitivos. Sus hallazgos respaldan la importancia de atender diferencias individuales al diseñar experiencias gamificadas. Para los modelos predictivos,

dicha perspectiva implica reconocer que patrones semejantes de interacción pueden adquirir significados diferentes según preferencias, trayectorias y respuestas previas del estudiante.

El abandono académico constituye uno de los ámbitos donde la analítica predictiva ha recibido mayor atención. De Oliveira et al. (2021) identifican, mediante una revisión sistemática, el aporte de la analítica del aprendizaje para detectar estudiantes con riesgo de deserción y apoyar acciones preventivas en educación superior. Los modelos pueden integrar rendimiento, participación y comportamiento digital para generar alertas tempranas. La utilidad de una alerta depende, sin embargo, de que conduzca a apoyos pertinentes y oportunos.

En sistemas gamificados, ciertos cambios conductuales pueden preceder al abandono: menor frecuencia de ingreso, interrupción de rachas, reducción de intentos o pérdida progresiva de participación. Ninguna señal resulta concluyente por separado. El interés reside en identificar combinaciones persistentes y cambios respecto del patrón habitual de cada persona. Una predicción sensible a trayectorias individuales puede distinguir mejor entre una pausa circunstancial y una desvinculación creciente, evitando activar intervenciones innecesarias ante fluctuaciones normales del proceso formativo cotidiano.

La construcción de modelos exige dividir los datos para entrenamiento, validación y prueba, además de seleccionar métricas acordes con la finalidad educativa. Una precisión global elevada puede ocultar errores relevantes cuando pocos estudiantes pertenecen al grupo de riesgo. Falsos positivos generan intervenciones innecesarias; falsos negativos dejan sin apoyo a quienes podrían necesitarlo. Por ello, sensibilidad, especificidad y calibración probabilística deben examinarse junto con consecuencias pedagógicas, evitando valorar el rendimiento algorítmico mediante una cifra aislada.

Ouhaichi et al. (2023) permiten situar la predicción dentro de una tendencia más amplia hacia analíticas multimodales capaces de integrar información procedente de múltiples canales. Sin embargo, añadir variables no garantiza mejores decisiones. Datos redundantes, ruidosos o poco pertinentes pueden aumentar complejidad sin aportar capacidad predictiva. La selección debe responder a hipótesis educativas y criterios de proporcionalidad. Un modelo parsimonioso, comprensible y suficientemente preciso puede resultar preferible frente a arquitecturas opacas con ganancias marginales.

La intervención derivada de una predicción requiere especial cuidado ético. Clasificar tempranamente a una persona como probable desertora puede modificar expectativas docentes, oportunidades y trato recibido. Las probabilidades deben revisarse periódicamente y acompañarse de explicaciones accesibles. De Oliveira et al. (2021) destacan la orientación preventiva de la analítica del aprendizaje frente al abandono; desde esa perspectiva, una alerta cobra sentido cuando moviliza apoyo académico, acompañamiento o ajustes pedagógicos, en lugar de funcionar como etiqueta permanente del estudiante.

Los modelos predictivos alcanzan valor educativo cuando convierten datos longitudinales en oportunidades de actuación prudente. Anticipar una caída de atención, una disminución motivacional o un riesgo creciente de abandono permite intervenir antes de que la desvinculación se consolide. Pero predecir no equivale a comprender plenamente. La decisión pedagógica necesita combinar probabilidades, evidencia multimodal y juicio profesional. Bajo tal principio, la analítica gamificada puede avanzar hacia sistemas adaptativos responsables, atentos tanto al rendimiento como a la autonomía.

4.6. Learning analytics neurocognitiva para la toma de decisiones pedagógicas en tiempo real

La learning analytics neurocognitiva articula señales fisiológicas, neuroeléctricas y conductuales para apoyar decisiones pedagógicas mientras transcurre una actividad de aprendizaje. Su interés radica en transformar flujos continuos de datos en indicadores interpretables para docentes y sistemas adaptativos. Frente a análisis posteriores, la operación en tiempo real exige reconocer variaciones relevantes con rapidez, sin confundir fluctuaciones ordinarias con necesidades de intervención. La respuesta pedagógica adquiere valor cuando conserva relación directa con objetivos formativos claros previamente establecidos.

Trabajar en tiempo real requiere sincronizar fuentes que poseen ritmos de muestreo y niveles de precisión diferentes. Registros electroencefalográficos, actividad ocular, respuestas autonómicas y acciones dentro de la plataforma deben alinearse temporalmente antes de generar inferencias. Ouhaichi et al. (2023) describen la analítica multimodal del aprendizaje como un campo orientado a integrar datos heterogéneos para comprender procesos complejos. Esa integración ofrece una base metodológica para construir indicadores neurocognitivos sensibles a cambios durante la interacción educativa.

La atención constituye un indicador especialmente pertinente para decisiones inmediatas, aunque su lectura demanda cautela. Una reducción momentánea de actividad asociada con concentración no autoriza a concluir que existe desinterés. Hung y Li (2024) relacionan registros electroencefalográficos de atención con actividades desarrolladas en una clase universitaria combinada, mostrando variaciones ligadas a diferentes formas de participación. Tales evidencias respaldan una lectura dinámica, donde la señal se interpreta junto con la tarea ejecutada y el desempeño observado.

Un sistema analítico puede detectar secuencias compatibles con fatiga, sobrecarga o pérdida progresiva de participación y ofrecer información al docente mediante paneles discretos. La decisión posterior no tendría que ser automática. Reducir dificultad, introducir una pausa, variar el tipo de actividad o proporcionar apoyo requiere valorar la situación pedagógica. La inmediatez tecnológica cobra sentido cuando amplía la capacidad de respuesta humana, no cuando reemplaza el juicio profesional mediante simples reglas cerradas derivadas de correlaciones transitorias.

La temporalidad modifica profundamente el diseño de la analítica. Los datos deben procesarse en ventanas suficientemente breves para conservar utilidad, pero suficientemente amplias para evitar reacciones ante ruido fisiológico. Elegir dicha escala exige conocimiento de la señal y de la actividad educativa. Una alerta generada demasiado pronto puede resultar inestable; otra producida tarde pierde capacidad de intervención. El equilibrio entre velocidad y fiabilidad constituye, por tanto, una condición metodológica central para decisiones pedagógicas educativas responsables.

La prevención del abandono ofrece una referencia útil para comprender el valor de intervenir antes de que una dificultad se consolide. De Oliveira et al. (2021) señalan que la analítica del aprendizaje puede contribuir a identificar riesgo de deserción y orientar medidas preventivas en educación superior. Trasladada al plano neurocognitivo, esa lógica favorece intervenciones graduadas ante patrones persistentes de desconexión, procurando que cualquier alerta active acompañamiento pedagógico oportuno y no una clasificación rígida del estudiante.

En experiencias gamificadas, la respuesta inmediata puede materializarse mediante ajustes de ritmo, retroalimentación, dificultad o distribución de estímulos. Conviene evitar que cada variación neurofisiológica desencadene una modificación, pues la

adaptación excesiva fragmentaría la experiencia y limitaría oportunidades de autorregulación. El sistema debería reconocer tendencias sostenidas y establecer umbrales revisables. De ese modo, la analítica funciona como apoyo sensible al cambio, mientras el estudiante conserva margen para persistir, equivocarse, reorganizar estrategias y afrontar exigencias pedagógicas razonables.

Ouhaichi et al. (2023) muestran que la analítica multimodal reúne métodos y fuentes, una característica que también obliga a cuidar la interoperabilidad entre dispositivos y plataformas. Para operar durante la actividad, los datos necesitan formatos compatibles, marcas temporales coherentes y procedimientos de procesamiento reproducibles. La arquitectura técnica debe registrar además qué información originó cada recomendación. Esa trazabilidad permite revisar decisiones, detectar errores y comprender por qué un sistema propuso determinada adaptación en un momento específico.

La toma de decisiones en tiempo real también plantea límites éticos relacionados con privacidad, autonomía y vigilancia. Registrar señales corporales durante una clase puede alterar la relación del estudiante con el aprendizaje si percibe una observación permanente. Por ello, la proporcionalidad resulta indispensable: medir únicamente variables justificadas, limitar su conservación y comunicar los usos previstos. Las alertas deberían favorecer apoyo pedagógico, evitando sanciones o inferencias que conviertan respuestas neurofisiológicas transitorias en juicios sobre capacidad personal.

La learning analytics neurocognitiva alcanza madurez cuando integra velocidad de procesamiento con prudencia pedagógica. Su propósito no consiste en gobernar automáticamente la experiencia, sino en ofrecer señales oportunas que permitan ajustar apoyos sin cancelar la agencia del estudiante. La combinación de neurodatos, conducta y desempeño puede

enriquecer decisiones durante actividades gamificadas si conserva transparencia y revisión humana. Bajo esa premisa, el tiempo real deja de ser velocidad técnica y adquiere sentido como oportunidad educativa informada.

Tabla 4

Neurodatos, inteligencia artificial y analítica del comportamiento gamificado

Eje temático	Aporte al análisis y la toma de decisiones pedagógicas
Electroencefalografía y patrones atencionales	El EEG permite registrar variaciones neuroeléctricas vinculadas con atención, esfuerzo cognitivo y procesamiento de estímulos durante experiencias gamificadas. Su elevada resolución temporal facilita relacionar cambios fisiológicos con momentos específicos de la actividad, siempre mediante interpretaciones prudentes y apoyadas por otras evidencias.
Eye tracking y trayectorias visuales	El seguimiento ocular registra fijaciones, movimientos sacádicos, permanencias y patrones de búsqueda visual. Su integración con eventos de interfaz permite reconocer distribución atencional, interacción con retroalimentaciones y posibles puntos de fricción dentro de recursos educativos interactivos.
Biosensores y wearables	Dispositivos portátiles permiten registrar actividad electrodérmica, frecuencia cardíaca, variabilidad fisiológica y movimiento corporal durante experiencias de aprendizaje. La sincronización de señales con eventos pedagógicos favorece una comprensión multidimensional de activación, esfuerzo y participación.
Inteligencia artificial e interpretación multimodal	Los modelos computacionales permiten integrar neurodatos, señales fisiológicas y registros conductuales para identificar regularidades temporales. Su valor pedagógico depende de explicabilidad, calidad de los datos, fundamento teórico y supervisión humana durante la interpretación.
Modelos predictivos	La combinación de datos longitudinales posibilita estimar probabilidades relacionadas con variaciones atencionales, motivación y riesgo de abandono. Las predicciones pueden orientar intervenciones tempranas cuando funcionan como indicadores revisables y no como clasificaciones permanentes del estudiante.
Learning analytics neurocognitiva	La integración de información neurocognitiva y conductual permite generar indicadores para apoyar decisiones durante el aprendizaje. Alertas y adaptaciones pueden orientar cambios de ritmo, dificultad, retroalimentación o apoyo pedagógico, preservando autonomía, proporcionalidad y juicio profesional.

Eje temático	Aporte al análisis y la toma de decisiones pedagógicas
Integración pedagógica y ética	El aprovechamiento educativo de neurodatos requiere trazabilidad, consentimiento informado, protección de información personal y límites claros para las inferencias automatizadas. La tecnología adquiere sentido cuando contribuye a comprender procesos de aprendizaje y favorece decisiones pedagógicas responsables.

Nota. La tabla organiza los principales componentes desarrollados en el Capítulo 4 y muestra su articulación progresiva desde la captura de señales neurocognitivas y conductuales hasta su integración computacional, predicción y aplicación pedagógica en tiempo real.

Capítulo V

Neurogamificación responsable y escenarios educativos de nueva generación

La neurogamificación entra en una etapa de madurez cuando la pregunta por aquello que la tecnología puede hacer cede espacio a otra más exigente: para qué conviene utilizarla en educación y bajo qué condiciones. La convergencia entre actividad neural, gamificación y sistemas inteligentes amplía las posibilidades de personalización, pero también obliga a revisar responsabilidades pedagógicas. Innovar adquiere entonces un sentido menos espectacular y más profundo, ligado al bienestar, la autonomía y la formación integral del estudiante.

Durante años, buena parte del entusiasmo tecnológico se concentró en incrementar atención, participación y motivación mediante experiencias cada vez más sensibles al comportamiento. Ahora resulta necesario mirar también aquello que ocurre alrededor de tales beneficios. Privitera y Du (2022) plantean que el desarrollo de neurotecnologías educativas requiere una agenda interdisciplinaria capaz de relacionar investigación, práctica y consideraciones éticas. Tal perspectiva permite comprender que ningún avance técnico adquiere valor pedagógico por su mera capacidad de registrar o predecir.

Una cuestión atraviesa buena parte de la discusión contemporánea: la actividad cerebral pertenece a una esfera especialmente vinculada con la identidad personal. Yuste (2023) advierte que los neurodatos requieren mecanismos específicos de protección y marcos regulatorios acordes con su sensibilidad. La educación incorpora una responsabilidad adicional, pues las relaciones entre instituciones, docentes y estudiantes presentan diferencias de poder. Registrar información neuronal puede resultar útil, pero su legitimidad dependerá de propósitos transparentes, límites comprensibles y garantías efectivas.

La protección de la persona tampoco termina en la seguridad de los registros. Lavazza y Giorgi (2023) fundamentan la integridad mental como un derecho relacionado con la preservación de dimensiones esenciales de autonomía e identidad

frente a intervenciones neurotecnológicas. Desde la educación, dicha reflexión obliga a mirar con cuidado las arquitecturas persuasivas. Una experiencia gamificada puede acompañar el esfuerzo y favorecer persistencia; también puede cruzar límites cuando convierte vulnerabilidades cognitivas en mecanismos destinados a prolongar participación.

Figura 13

Neurogamificación responsable y educación de nueva generación



La personalización abre una tensión igualmente relevante. Adaptar una experiencia a preferencias, conductas o respuestas individuales promete superar diseños uniformes, aunque cada decisión algorítmica contiene criterios sobre aquello que merece atención. Xiao y Hew (2024) analizaron diferencias entre gamificación personalizada y esquemas iguales para todos, atendiendo resultados motivacionales, conductuales y cognitivos. La evidencia invita a tratar la adaptación como herramienta pedagógica evaluable, evitando asumir que mayor personalización conduce necesariamente hacia experiencias más justas o formativamente valiosas.

Lighthart et al. (2023) sitúan el debate sobre neuroderechos en diálogo con fundamentos jurídicos relacionados con privacidad, autonomía, identidad e integridad. En sistemas educativos personalizados, dicha mirada cobra especial relevancia cuando modelos predictivos distribuyen apoyos, niveles de dificultad u oportunidades. La equidad neurodigital demanda algo más que acceso a dispositivos. Requiere preguntarse quién está representado en los datos, quién recibe beneficios de la adaptación y quién podría quedar limitado por categorías estadísticas convertidas prematuramente en expectativas educativas.

A la vez, las interfaces cerebro-computadora modifican la propia noción de interacción. Una señal neural puede convertirse en comando, retroalimentación o componente de una tarea gamificada, creando formas de participación antes difíciles de considerar. Anguera et al. (2023) aportan evidencia sobre el potencial de experiencias digitales que articulan componentes cognitivos y físicos para trabajar la atención infantil. Aunque las tecnologías difieren, permanece una lección compartida: la innovación adquiere sentido cuando la interacción responde a objetivos formativos claramente delimitados.

La realidad extendida amplía todavía más el horizonte al convertir espacios digitales en escenarios donde percepción, movimiento, decisión y aprendizaje pueden relacionarse de manera continua. Coban et al. (2022) identifican, mediante metaanálisis, efectos favorables asociados con experiencias educativas de realidad virtual inmersiva. Por su parte, Lampropoulos y Kinshuk (2024) documentan una creciente convergencia entre realidad virtual y gamificación. Tales avances permiten pensar experiencias ricas, aunque la intensidad sensorial necesita permanecer subordinada a propósitos educativos verificables.

La inteligencia artificial añade capacidad para interpretar información y reorganizar la experiencia durante su desarrollo. González-González et al. (2023) presentan una arquitectura de

chatbot reactivo orientada a personalizar la gamificación, mostrando una vía para ajustar elementos según características del alumnado. Cuando dicha lógica se combina con neurotecnología y realidad extendida, aparece un ecosistema adaptativo de notable complejidad. El interés ya no reside en una herramienta aislada, sino en la coordinación pedagógica entre datos, decisiones automatizadas y mediación humana.

El capítulo aborda, por tanto, una transformación que rebasa la incorporación de nuevos dispositivos al aula. Neuroética, privacidad cognitiva, persuasión algorítmica, equidad, interfaces neurales y ecosistemas adaptativos forman dimensiones conectadas de una misma responsabilidad educativa. El horizonte tecnológico puede ampliar maneras de aprender, participar y autorregularse, siempre que la innovación preserve espacios para decidir, disentir y desconectarse. Bajo tal premisa, una neurogamificación responsable busca potenciar capacidades humanas sin convertir la mente del estudiante en territorio disponible para optimización permanente.

5.1. Neuroética aplicada al diseño de experiencias gamificadas y persuasivas

La neuroética aplicada a la gamificación educativa parte de una premisa: captar atención no equivale a disponer de ella. Cuando una experiencia utiliza recompensas, retroalimentación inmediata o señales neurofisiológicas, el diseño adquiere capacidad para orientar decisiones, emociones y ritmos de participación. Tal poder exige límites explícitos. La pregunta ética deja de centrarse en la eficacia persuasiva y se desplaza hacia la autonomía del estudiante, su dignidad y su derecho a conservar espacios de decisión genuina.

Desde esa perspectiva, una mecánica persuasiva resulta aceptable cuando favorece metas pedagógicas comprendidas por quien aprende, sin convertir vulnerabilidades en oportunidades de

manipulación. La motivación inducida mediante puntos, rachas o recompensas variables puede intensificar la participación, pero también estrechar el margen deliberativo. Por ello, conviene distinguir entre acompañar una conducta y dirigirla de manera encubierta. La diferencia reside en la transparencia, la proporcionalidad del estímulo y la posibilidad real de abandonar la dinámica sin perjuicio.

La incorporación de neurodatos vuelve más delicada esa frontera. Registros de atención, carga cognitiva o reacción emocional pueden enriquecer la adaptación pedagógica, aunque revelan dimensiones íntimas difíciles de separar de la identidad personal. Yuste (2023) advierte que la expansión de las neurotecnologías requiere salvaguardas específicas para la privacidad cerebral y una regulación capaz de anticipar usos lesivos. En gamificación, tal cautela implica recopilar únicamente información pertinente, durante periodos justificados y bajo propósitos educativos previamente comunicados.

La integridad mental ofrece otro criterio para evaluar experiencias persuasivas. No basta con proteger archivos o anonimizar registros; también importa evitar intervenciones que alteren preferencias, condiciones afectivas o decisiones sin consentimiento significativo. Lavazza y Giorgi (2023) vinculan la integridad mental con la protección de la vida psíquica frente a interferencias neurotecnológicas indebidas. Trasladado al diseño educativo, ese principio reclama mecanismos reversibles, intensidades moderadas y opciones que permitan al estudiante recuperar control sobre su participación siempre.

El consentimiento merece una lectura más exigente cuando intervienen sistemas adaptativos. Aceptar términos al inicio de una plataforma no garantiza comprensión de sus mecanismos persuasivos. Las reglas pueden cambiar, los algoritmos ajustar recompensas y los sensores producir inferencias nuevas. Por esa razón, el consentimiento debería concebirse como proceso

renovable, comprensible y graduado. Cada cambio tendría que comunicarse con lenguaje claro, ofreciendo alternativas para quienes prefieran limitar la captura de señales o reducir la personalización neurotecnológica.

La discusión sobre neuroderechos amplía el marco de protección. Lighthart et al. (2023) muestran que derechos vinculados con privacidad mental, identidad e integridad encuentran fundamentos en tradiciones jurídicas, aunque su formulación continúa en desarrollo. Para la neurogamificación, esa observación invita a evitar soluciones éticas decorativas. Una insignia de consentimiento o una política extensa no bastan. La protección debe expresarse en decisiones técnicas: minimización de datos, acceso restringido, trazabilidad y límites verificables para cualquier inferencia automatizada.

También importa examinar la arquitectura de recompensas. Una experiencia educativa puede fomentar persistencia sin convertir la continuidad en obligación psicológica. Rachas, pérdidas evitables, tablas públicas o avisos insistentes generan presión al diseñarse para dificultar la desconexión. La neuroética pide valorar no únicamente aquello que incrementa la participación, sino aquello que preserva libertad al participar. Un buen diseño permite detenerse, cambiar de meta, rechazar estímulos y regresar después, sin castigos simbólicos que exploten culpa o ansiedad.

La equidad añade otra capa de responsabilidad. Los indicadores neurofisiológicos varían entre personas y pueden interpretarse imprecisamente cuando se convierten en categorías rígidas de atención, esfuerzo o motivación. Una plataforma que premia ciertas reacciones corre el riesgo de favorecer perfiles compatibles con sus métricas y penalizar formas de aprender. La prudencia ética requiere validación diversa, revisión humana y canales de reclamación. Ninguna señal cerebral debería

transformarse automáticamente en juicio sobre capacidad, compromiso o mérito académico.

La responsabilidad institucional tampoco puede delegarse al algoritmo ni al proveedor tecnológico. Docentes, diseñadores, investigadores y autoridades educativas comparten deberes diferenciados respecto de decisiones que afectan al alumnado. Yuste (2023) plantea la necesidad de gobernanza ante riesgos derivados del tratamiento de neurodatos; en paralelo, Ligthart et al. (2023) sitúan los neuroderechos en marcos normativos amplios. Una aplicación responsable traduce esos principios en auditorías, documentación, supervisión humana independiente y criterios públicos claros para suspender funciones problemáticas.

En una educación de nueva generación, la innovación adquiere legitimidad cuando mantiene abierta la agencia humana. La neurogamificación puede ofrecer experiencias sensibles al ritmo, esfuerzo y atención, pero su valor pedagógico depende de límites que protejan intimidad, integridad y elección. Diseñar responsablemente significa renunciar a posibilidades técnicas cuando invaden la esfera mental o convierten persuasión en control. La meta no es maximizar permanencia, sino favorecer aprendizajes profundamente significativos mediante relaciones tecnológicas dignas, comprensibles y revisables.

5.2. Privacidad cognitiva, neurodatos y consentimiento informado del estudiante

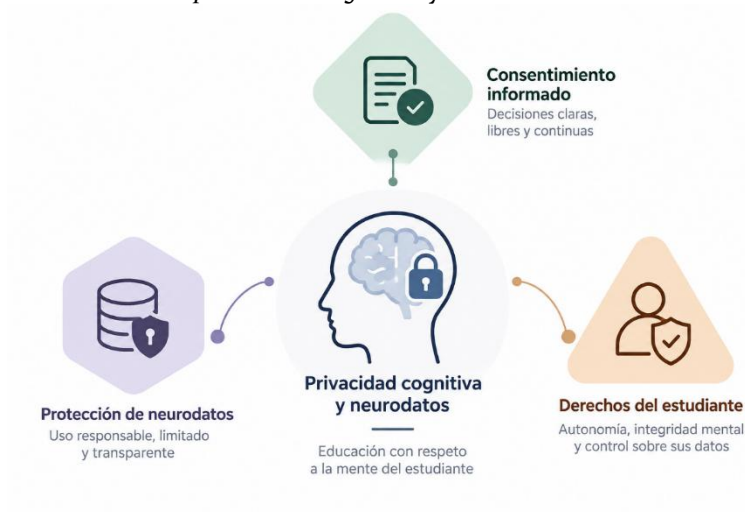
La privacidad cognitiva adquiere una dimensión particular cuando la actividad educativa incorpora dispositivos capaces de registrar señales cerebrales, patrones atencionales o respuestas fisiológicas asociadas al aprendizaje. Tales registros exceden la información académica convencional, pues pueden revelar disposiciones mentales difíciles de mantener bajo control personal. Yuste (2023) plantea que los neurodatos requieren protecciones regulatorias específicas debido a su vínculo con la vida mental. En

educación, protegerlos implica reconocer una esfera íntima que merece un resguardo reforzado.

Hablar de neurodatos exige distinguir entre la señal obtenida por un sensor y las inferencias producidas mediante procesamiento algorítmico. Un registro aparentemente limitado puede adquirir nuevos significados al combinarse con rendimiento, conducta digital o antecedentes escolares. La privacidad, por tanto, no depende únicamente del almacenamiento seguro. También comprende los usos secundarios, las asociaciones futuras y la capacidad institucional para establecer perfiles. Cada inferencia debería responder a una finalidad pedagógica legítima, comprensible y delimitada para todos.

Figura 14

Protección de la privacidad cognitiva y los neurodatos



La sensibilidad de la información neuronal modifica la relación entre estudiante e institución educativa. Quien aprende puede aceptar una actividad gamificada sin advertir que sensores permiten deducir fatiga, interés o estados afectivos. Lighthart et al. (2023) vinculan la discusión sobre neuroderechos con garantías

jurídicas relacionadas con privacidad, identidad y libertad mental. Bajo esa perspectiva, informar requiere explicar qué datos se capturan, qué inferencias pueden derivarse y quién tendrá acceso durante cada fase del tratamiento posterior.

El consentimiento informado adquiere valor cuando deja de funcionar como trámite administrativo y se convierte en una práctica comprensible de decisión. Formularios extensos, vocabulario técnico o autorizaciones generales debilitan su legitimidad, particularmente entre estudiantes con escasa familiaridad neurotecnológica. Una explicación debería presentar propósitos, duración, riesgos, beneficios, destinatarios y mecanismos de retirada con lenguaje accesible. También conviene separar permisos, permitiendo aceptar una actividad pedagógica sin autorizar usos adicionales de información neuronal para investigación, entrenamiento algorítmico posterior.

Cuando participan menores de edad, la autorización familiar no agota la responsabilidad ética. La voz del estudiante conserva relevancia según su capacidad de comprensión. Escuchar dudas, preferencias o negativas favorece una relación educativa menos paternalista y más respetuosa de la agencia personal. El asentimiento puede renovarse durante la experiencia, especialmente cuando cambian dispositivos o propósitos. Una negativa tampoco debería traducirse en desventajas académicas, exclusión grupal ni pérdida de oportunidades equivalentes de aprendizaje para ningún participante.

La integridad mental aporta un fundamento para comprender por qué datos requieren cautelas mayores. Lavazza y Giorgi (2023) sostienen que la protección de la esfera mental responde al valor de preservar condiciones vinculadas con autonomía e identidad personal frente a intervenciones tecnológicas. Desde una mirada educativa, resguardar neurodatos significa impedir que información íntima sea utilizada para presionar decisiones, clasificar temperamentos o anticipar

conductas sin garantías suficientes, incluso cuando exista interés institucional por mejorar resultados académicos.

La minimización de datos constituye una práctica coherente con tal protección. Si una actividad necesita estimar niveles generales de atención, conservar señales neuronales completas carece de justificación pedagógica inmediata. Conviene recolectar información estrictamente necesaria, reducir precisión cuando resulte suficiente y establecer plazos definidos de eliminación. Yuste (2023) reclama marcos regulatorios capaces de proteger la privacidad neuronal; esa orientación puede traducirse en diseños donde la arquitectura tecnológica limite desde el origen la acumulación innecesaria de información.

La transparencia también debe alcanzar a quienes interpretan los resultados. Un indicador de concentración no representa una lectura directa del pensamiento ni una descripción infalible del estado mental. Presentarlo con certeza excesiva puede generar etiquetas que acompañen al estudiante. Los informes técnicos deberían comunicar márgenes de error, alcance de las mediciones y límites interpretativos. La prudencia profesional exige evitar decisiones disciplinarias o evaluativas sustentadas en señales neurofisiológicas cuya validez pueda depender de variables personales diversas.

La gobernanza institucional permite convertir principios de privacidad en responsabilidades verificables. Lighthart et al. (2023) muestran que los debates sobre neuroderechos dialogan con garantías ya presentes en marcos jurídicos y éticos. En centros educativos, dicha convergencia reclama protocolos de acceso, registro de consultas, evaluación de riesgos y procedimientos ante filtraciones. Resulta pertinente identificar responsables para responder preguntas del alumnado y corregir prácticas indebidas, evitando que la custodia de neurodatos quede dispersa entre proveedores y plataformas.

Una cultura respetuosa de la privacidad cognitiva no nace de prohibir medición, sino de establecer relaciones de confianza alrededor de ella. El estudiante necesita saber que mantiene capacidad para preguntar, consentir, limitar y retirar permisos sin temor a consecuencias académicas. Tal confianza se fortalece cuando instituciones y diseñadores explican sus decisiones y aceptan límites razonables. La innovación educativa gana legitimidad cuando el acceso a la actividad mental permanece subordinado a dignidad, autonomía y protección personal.

5.3. Límites de la persuasión algorítmica y prevención de patrones adictivos en la gamificación

La persuasión algorítmica ocupa una zona delicada dentro de la gamificación educativa porque puede orientar conductas mediante recompensas, recordatorios, predicciones y ajustes personalizados. Su legitimidad depende del propósito pedagógico y del margen de decisión que conserve quien aprende. Cuando el sistema busca prolongar interacción por encima del aprendizaje, la arquitectura motivacional pierde equilibrio. Conviene diferenciar una ayuda que facilita perseverancia de una presión diseñada para mantener respuestas repetitivas, aun cuando hayan dejado de aportar valor.

Los algoritmos pueden aprender qué estímulos incrementan la participación de cada estudiante y ajustar frecuencia, intensidad o momento de aparición. Tal capacidad mejora la personalización, aunque también facilita ciclos conductuales difíciles de interrumpir. Una recompensa variable, una racha amenazada o una notificación calculada pueden aprovechar mecanismos de anticipación para sostener actividad. La cuestión ética aparece cuando la optimización privilegia permanencia, clics o recurrencia frente a comprensión, descanso y autonomía, desplazando silenciosamente la finalidad formativa original.

La evidencia aconseja evitar una lectura simplista de la motivación gamificada. Li et al. (2024) encontraron efectos favorables sobre motivación intrínseca, autonomía percibida y vinculación, mientras el impacto sobre competencia fue reducido. Tal diferencia recuerda que incrementar participación no garantiza aprendizaje equivalente. Un diseño responsable debería evaluar calidad motivacional, no mera frecuencia de uso. Importa que las mecánicas apoyen decisiones significativas y relaciones educativas valiosas, en lugar de convertir la repetición conductual en indicador principal.

Los patrones adictivos no dependen de una mecánica aislada, sino de combinaciones capaces de intensificar hábito, urgencia y pérdida de control. Recompensas impredecibles, temporizadores, rankings permanentes y penalizaciones por ausencia pueden formar ciclos de retorno insistente. En población estudiantil, la prevención requiere especial cautela porque las diferencias madurativas afectan autorregulación y valoración de consecuencias. Diseñar con límites temporales, pausas visibles y cierres naturales permite que la experiencia termine sin fabricar ansiedad por continuar conectados indefinidamente.

La integridad mental proporciona un criterio relevante para establecer fronteras frente a técnicas persuasivas demasiado invasivas. Lavazza y Giorgi (2023) fundamentan su protección en la preservación de dimensiones mentales ligadas a identidad, autonomía y capacidad de autodeterminación. Desde esa perspectiva, una plataforma educativa debería abstenerse de manipular estados afectivos o explotar vulnerabilidades para obtener obediencia conductual. La eficacia tecnológica pierde legitimidad cuando reduce deliberación, dificulta desconexión o transforma preferencias mediante presiones opacas para el usuario.

Una prevención efectiva también exige revisar las métricas que orientan al algoritmo. Si el éxito se define mediante minutos conectados, número de sesiones o continuidad diaria, el sistema

aprenderá a favorecer conductas compatibles con esos indicadores. Cambiar la métrica cambia la conducta promovida. Resulta preferible valorar comprensión, transferencia, autorregulación y cumplimiento de metas elegidas. La persuasión puede apoyar el aprendizaje cuando responde a objetivos pedagógicos verificables y acepta que abandonar oportunamente también puede representar progreso.

La personalización basada en neurodatos aumenta la capacidad de anticipar momentos de receptividad, cansancio o atención, lo que vuelve más sensible cualquier intervención persuasiva. Yuste (2023) defiende mayores garantías para la privacidad neuronal y una regulación acorde con los riesgos derivados de las neurotecnologías. En gamificación, esa cautela debería extenderse al uso conductual de las inferencias: conocer una vulnerabilidad atencional no autoriza aprovecharla para intensificar recompensas, insistencia algorítmica o permanencia dentro de una plataforma educativa.

Los mecanismos de fricción positiva ofrecen una alternativa frente al diseño orientado a maximizar enganche. Introducir pausas, resumir avances, limitar notificaciones o preguntar si conviene continuar devuelve espacio a la deliberación. No toda interrupción perjudica la experiencia; algunas protegen atención y favorecen autorregulación. También resulta pertinente desactivar por defecto funciones insistentes. La arquitectura educativa responsable no teme que el estudiante se retire cuando ha cumplido su propósito, pues reconoce el descanso como parte del aprendizaje.

La evaluación ética requiere observar efectos durante periodos amplios y escuchar la experiencia estudiantil. Indicadores como irritabilidad ante interrupciones, preocupación por perder rachas, uso compulsivo o desplazamiento de tareas merecen atención temprana, sin convertir cualquier entusiasmo en patología. Li et al. (2024) muestran que la gamificación puede

favorecer dimensiones motivacionales valiosas; precisamente por ello conviene preservar sus beneficios mediante diseños medidos. Auditorías periódicas y mecanismos de reporte permiten corregir dinámicas que generen dependencia conductual innecesaria.

El límite razonable de la persuasión algorítmica aparece cuando la tecnología deja de acompañar decisiones y comienza a estrecharlas. Una neurogamificación responsable debe favorecer participación voluntaria, metas comprensibles y oportunidades de desconexión. El aprendizaje necesita compromiso, pero también distancia, pausa y reflexión. Diseñar para que una persona pueda detenerse sin culpa constituye un indicador de madurez pedagógica. La innovación conserva sentido cuando fortalece autonomía y evita convertir atención en un recurso que deba capturarse indefinidamente.

5.4. Equidad neurodigital y sesgos algorítmicos en sistemas educativos personalizados

La equidad neurodigital exige que la personalización educativa no convierta diferencias humanas en jerarquías automatizadas. Cuando plataformas gamificadas combinan desempeño, conducta y señales neurofisiológicas, cada clasificación puede influir en oportunidades de aprendizaje posteriores. El problema no reside únicamente en errores técnicos, sino en criterios que definen quién recibe apoyo, dificultad o reconocimiento. Diseñar con justicia implica examinar datos, modelos y consecuencias distributivas, procurando que ninguna característica personal determine trayectorias educativas injustamente restringidas desde etapas tempranas.

Los sesgos algorítmicos suelen comenzar antes del entrenamiento de un modelo. Aparecen en decisiones sobre qué variables medir, qué poblaciones representar y qué resultados considerar deseables. Un conjunto de datos desequilibrado puede convertir patrones mayoritarios en referencias normativas. Lighthart

et al. (2023) relacionan los neuroderechos con garantías de igualdad y protección de la persona. En educación personalizada, dicha relación obliga a preguntar quién queda insuficientemente representado cuando una herramienta aprende a clasificar rendimiento o atención.

La neurogamificación añade complejidad porque las señales fisiológicas presentan variaciones vinculadas con edad, características corporales, condiciones ambientales y diferencias individuales. Un algoritmo entrenado con grupos homogéneos puede interpretar de manera desigual respuestas. La precisión promedio, por ello, resulta insuficiente como criterio de calidad. Evaluar desempeño entre subgrupos permite detectar brechas ocultas tras métricas. La equidad requiere reconocer que un sistema técnicamente competente puede producir resultados pedagógicos desiguales cuando sus errores recaen repetidamente sobre ciertos estudiantes.

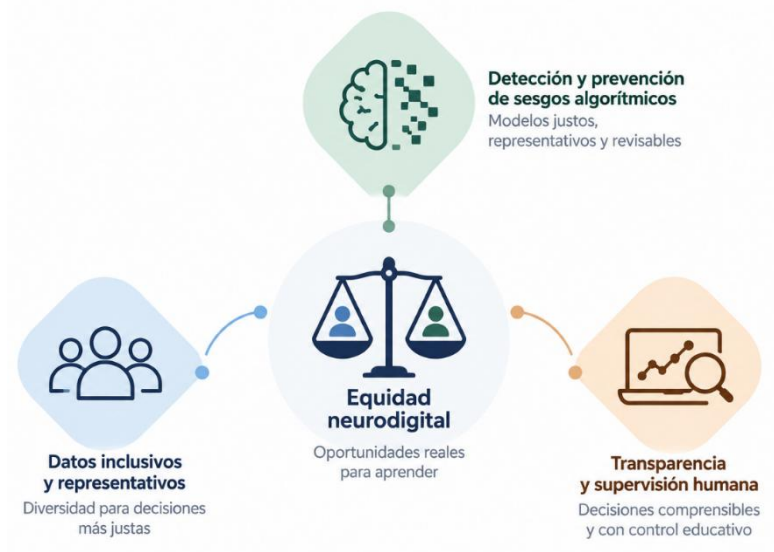
La personalización tampoco garantiza justicia por definición. Xiao y Hew (2024) compararon gamificación personalizada y uniforme, mostrando que adaptar elementos puede generar diferencias relevantes en resultados motivacionales, conductuales y cognitivos. Tal evidencia invita a considerar la personalización como una decisión pedagógica que necesita evaluación, no como virtud automática. Adaptar recompensas o niveles puede beneficiar al estudiante cuando amplía oportunidades; pierde legitimidad cuando consolida etiquetas tempranas y reduce acceso a experiencias intelectualmente exigentes durante su formación.

Una predicción algorítmica puede adquirir apariencia de objetividad y condicionar expectativas docentes. Si una plataforma identifica reiteradamente a alguien como distraído, poco motivado o de bajo rendimiento, la categoría puede orientar intervenciones futuras y reforzando aquello que pretendía describir. Evitar ese círculo requiere presentar resultados como estimaciones revisables.

Ninguna puntuación debería sustituir observación pedagógica, diálogo y evidencia diversa. La decisión profesional conserva valor precisamente porque permite cuestionar patrones estadísticos cuando contradicen la experiencia educativa vivida.

Figura 15

Equidad neurodigital en la personalización educativa



La distribución desigual de infraestructura constituye otra dimensión de la equidad neurodigital. Sistemas personalizados que dependen de sensores avanzados, conectividad estable o dispositivos costosos pueden ampliar diferencias entre instituciones y territorios. Yuste (2023) advierte que el desarrollo neurotecnológico demanda regulación y protección capaces de acompañar su expansión social. En educación, adoptar innovación responsable implica valorar accesibilidad económica, mantenimiento y alternativas equivalentes, evitando que mayores capacidades de personalización queden reservadas para comunidades con recursos tecnológicos privilegiados.

La auditoría de equidad debe acompañar todo el ciclo de vida del sistema. Antes del despliegue, revisar representatividad, variables sensibles y criterios de optimización; durante el uso, comparar tasas de error y beneficios entre grupos; después, documentar efectos inesperados. La tarea requiere equipos capaces de combinar conocimiento pedagógico y técnico. También necesita participación estudiantil, porque ciertas formas de exclusión se perciben primero en la experiencia cotidiana y tardan más en aparecer dentro de indicadores institucionales.

Corregir sesgos no significa eliminar toda diferencia en las recomendaciones. La educación personalizada precisamente busca responder a necesidades diversas. El criterio relevante consiste en determinar si una diferenciación amplía capacidades o restringe oportunidades mediante asociaciones injustificadas. Lighthart et al. (2023) sitúan la protección de autonomía e identidad dentro del debate sobre neuroderechos, orientación pertinente cuando perfiles algorítmicos adquieren peso institucional. La personalización debería permanecer abierta a revisión y permitir trayectorias que contradigan predicciones sin penalización.

La explicabilidad aporta una garantía frente a decisiones automatizadas difíciles de cuestionar. Estudiantes y docentes necesitan comprender por qué cambia una tarea, una recompensa o un nivel de dificultad, especialmente cuando la adaptación afecta oportunidades académicas. Explicar no exige revelar cada detalle matemático; requiere siempre ofrecer razones pedagógicamente inteligibles y mecanismos de revisión. Cuando una recomendación pueda perjudicar al estudiante, debería existir intervención humana accesible, registro y posibilidad efectiva de corregir datos o interpretaciones erróneas.

La equidad neurodigital plantea, en suma, una pregunta sobre la educación construida mediante personalización algorítmica. Un sistema justo no trata a todas las personas de manera idéntica, pero tampoco convierte diferencias estadísticas en

destinos educativos. Su propósito consiste en ampliar posibilidades, detectar necesidades sin fijar identidades, distribuir beneficios tecnológicos transparentemente. La neurogamificación responsable alcanza madurez cuando la adaptación permanece al servicio del desarrollo humano y cada estudiante conserva oportunidades reales para aprender, cambiar y sorprender.

5.5. Interfaces cerebro-computadora y experiencias gamificadas controladas mediante actividad neural

Las interfaces cerebro-computadora amplían las posibilidades de interacción educativa al convertir determinadas señales neurales en comandos capaces de modificar una experiencia gamificada. Frente al teclado, la pantalla táctil o el movimiento corporal, la actividad cerebral introduce un canal distinto, todavía condicionado por ruido, variabilidad y entrenamiento. Su interés pedagógico reside en vincular intención, atención y respuesta digital dentro de tareas significativas, sin confundir una señal decodificada con una lectura transparente de la mente del estudiante.

En educación, las interfaces no invasivas basadas en electroencefalografía concentran buena parte del interés debido a su menor riesgo y relativa portabilidad. Privitera y Du (2022) señalan que la neurotecnología educativa requiere investigación interdisciplinaria capaz de conectar avances técnicos con necesidades pedagógicas. Una interfaz útil, por tanto, no debería incorporarse por novedad. Su valor depende de que facilite acciones relevantes, reduzca barreras de interacción y produzca información interpretable para orientar experiencias de aprendizaje bien fundamentadas.

El control neural dentro de una actividad gamificada puede adoptar distintos grados. Una señal puede activar una acción, modificar la dificultad o alimentar retroalimentación vinculada con estados atencionales estimados. Cuanto mayor sea la dependencia

del sistema respecto de la señal cerebral, mayor deberá ser la tolerancia ante errores. La experiencia necesita ofrecer rutas alternativas de interacción, porque una clasificación imprecisa no debería bloquear avances, atribuir fracaso al estudiante ni transformar fluctuaciones fisiológicas en penalizaciones injustificadas.

La calibración representa una fase, no meramente técnica. Aprender a producir señales distinguibles requiere práctica, retroalimentación y tiempo para comprender la relación entre intención y respuesta del sistema. Durante ese proceso, el estudiante aprende acerca de autorregulación y variabilidad corporal. Conviene evitar mensajes que presenten el desempeño neural como capacidad fija. Los errores pueden provenir del dispositivo, del procesamiento o de condiciones momentáneas, razón suficiente para normalizar ajustes y recalibraciones sin convertirlos en evaluación personal.

La combinación entre videojuego y entrenamiento cognitivo aporta referencias útiles para diseñar experiencias activas. Anguera et al. (2023) estudiaron una intervención que integraba componentes cognitivos y físicos mediante un videojuego orientado a niños, observando resultados prometedores relacionados con la atención. Aunque una interfaz neural plantea mecanismos diferentes, dicha línea de trabajo refuerza una idea: la tecnología adquiere sentido educativo cuando las acciones digitales forman parte de tareas estructuradas, medibles y vinculadas con objetivos cognitivos definidos.

Otro aspecto reside en la retroalimentación que recibe quien utiliza la interfaz. Mostrar ondas cerebrales sin mediación puede generar interpretaciones erróneas o una fascinación productiva. Resulta preferible traducir las señales en indicadores comprensibles, acompañados de explicaciones sobre incertidumbre y variabilidad. La interfaz debe enseñar también sus propios límites. Cuando el estudiante comprende que una respuesta digital deriva

de probabilidades y procesamiento, puede relacionarse con la tecnología desde una posición reflexiva, menos dependiente de apariencias deterministas.

El tratamiento de señales neurales demanda cautelas adicionales cuando el sistema conserva registros para mejorar algoritmos o comparar sesiones. Yuste (2023) sostiene que los neurodatos requieren protecciones específicas debido a su cercanía con dimensiones íntimas de la persona. En interfaces educativas, una arquitectura responsable puede procesar localmente información, descartar señales innecesarias y separar datos identificables de métricas pedagógicas. La innovación técnica gana legitimidad cuando reduce exposición informacional sin empobrecer la funcionalidad requerida para poder aprender.

Las interfaces cerebro-computadora también pueden ampliar formas de participación para estudiantes con limitaciones motoras, siempre que accesibilidad no se confunda con universalidad. Ningún canal neural funciona igualmente para todas las personas ni todas las tareas. Privitera y Du (2022) reclaman una mirada sobre la incorporación educativa de neurotecnologías, atendiendo evidencia y consecuencias. Diseñar alternativas equivalentes evita que una herramienta concebida para ampliar posibilidades termine creando nuevas barreras mediante requisitos fisiológicos, técnicos o económicos demasiado restrictivos.

La evaluación de experiencias controladas neuralmente debería integrar precisión técnica, aprendizaje y experiencia. Una interfaz puede clasificar señales correctamente y, pese a ello, resultar agotadora o pedagógicamente irrelevante. Conviene medir carga de entrenamiento, estabilidad entre sesiones, transferencia de habilidades y percepción de control. Interesa observar cuándo el dispositivo deja de ocupar el centro de atención. Una integración madura ocurre cuando la tecnología facilita la tarea sin convertir cada interacción en demostración permanente de sofisticación neurotecnológica.

Mirando hacia escenarios educativos de nueva generación, el control mediante actividad neural puede enriquecer diversas simulaciones, entornos adaptativos y experiencias accesibles, pero requiere expectativas proporcionadas a la evidencia disponible. La interfaz no reemplaza intención pedagógica, acompañamiento docente ni diversidad de canales expresivos. Su aporte reside en abrir formas adicionales de interacción entre cerebro y sistema digital. Cuando precisión, accesibilidad y significado educativo avanzan conjuntamente, la neurogamificación puede incorporar control neural sin convertirlo en espectáculo tecnológico.

5.6. Ecosistemas de neurogamificación con inteligencia artificial, realidad extendida y aprendizaje adaptativo

Los ecosistemas de neurogamificación representan una convergencia entre inteligencia artificial, realidad extendida, analítica del aprendizaje y tecnologías capaces de registrar respuestas psicofisiológicas. Su interés educativo nace de la coordinación entre componentes, no de la presencia aislada de dispositivos avanzados. Una experiencia puede modificar tareas, estímulos o apoyos conforme cambia el desempeño del estudiante. La arquitectura resultante funciona como entorno dinámico, donde percepción, acción y retroalimentación mantienen una relación continua orientada hacia propósitos formativos definidos previamente.

La inteligencia artificial cumple una función de orquestación al interpretar múltiples fuentes de información y seleccionar respuestas pedagógicas acordes con patrones observados. Un modelo puede ajustar dificultad, recomendar pausas o modificar mecánicas gamificadas según progreso y participación. González-González et al. (2023) proponen una arquitectura de chatbot reactivo para personalizar elementos de gamificación a partir de perfiles del alumnado. Tal planteamiento muestra que la adaptación puede organizarse mediante

interacciones conversacionales capaces de responder dinámicamente durante el aprendizaje.

La realidad extendida aporta una dimensión espacial y experiencial que transforma la relación entre contenido y acción. Objetos virtuales, escenarios simulados y capas digitales permiten representar procesos difíciles de observar mediante recursos convencionales. Coban et al. (2022), mediante un metaanálisis, identificaron potencial educativo favorable en aplicaciones de realidad virtual inmersiva. Sin embargo, la riqueza sensorial necesita alineación pedagógica: aumentar presencia o espectacularidad carece de mérito cuando las demandas perceptivas desplazan razonamiento, comprensión o elaboración conceptual del estudiante.

Cuando la realidad extendida incorpora gamificación, las mecánicas pueden integrarse directamente con acciones corporales, decisiones espaciales y resolución de problemas. Lampropoulos y Kinshuk (2024) documentan una amplia diversidad de aplicaciones educativas donde realidad virtual y gamificación convergen con propósitos de aprendizaje. La integración permite convertir progresión, retroalimentación y metas en elementos del entorno. Conviene preservar una jerarquía clara: primero la intención educativa, luego la mecánica y después la tecnología encargada de materializarla para cada actividad formativa.

El aprendizaje adaptativo conecta los distintos componentes mediante ciclos continuos de observación, interpretación y ajuste. Cada interacción aporta evidencia que puede modificar la siguiente tarea, aunque adaptarse no equivale a reaccionar ante cualquier fluctuación. Un sistema pedagógicamente cuidadoso distingue tendencias de variaciones momentáneas y evita cambios constantes que fragmenten la experiencia. La adaptación gana valor cuando mantiene coherencia curricular, ofrece progresión reconocible y permite que el

estudiante comprenda por qué recibe determinado apoyo, nivel o modalidad de práctica.

La incorporación de señales neurofisiológicas puede enriquecer esos ciclos cuando aporta información relevante sobre atención, esfuerzo o carga cognitiva. Sin embargo, ninguna medida debería gobernar por sí misma la adaptación. Una lectura más prudente combina desempeño, interacción, observación docente y señales fisiológicas antes de modificar la experiencia. La inteligencia artificial puede integrar fuentes heterogéneas, pero necesita reglas pedagógicas que limiten interpretaciones precipitadas. El objetivo consiste en responder con sensibilidad sin convertir cada variación neural en instrucción automática inmediata.

Otro rasgo de los ecosistemas avanzados reside en su capacidad para combinar modalidades según necesidades cambiantes. Una actividad puede comenzar mediante simulación inmersiva, continuar con diálogo asistido por inteligencia artificial y cerrar con práctica adaptativa. González-González et al. (2023) muestran que la personalización gamificada puede articularse mediante arquitecturas reactivas. Trasladada a entornos multimodales, dicha lógica favorece transiciones funcionales entre herramientas, siempre que cada cambio responda a una razón educativa reconocible para el estudiante participante.

La presencia docente adquiere un carácter diferente dentro de arquitecturas altamente automatizadas. En lugar de competir con la inteligencia artificial, el profesorado puede interpretar patrones, establecer excepciones y decidir cuándo una adaptación pierde pertinencia. Los paneles deberían ofrecer información accionable, evitando saturar con métricas difíciles de traducir en decisiones pedagógicas. La automatización resulta valiosa cuando libera tiempo para acompañamiento, conversación y juicio profesional, mientras mantiene visibles los criterios utilizados para organizar experiencias personalizadas en el aula cotidiana.

Evaluar un ecosistema neurogamificado requiere analizar relaciones entre componentes, no únicamente resultados producidos por cada tecnología. Lampropoulos y Kinshuk (2024) muestran la amplitud de variables estudiadas en investigaciones sobre realidad virtual y gamificación, mientras Coban et al. (2022) destacan efectos educativos asociados con inmersión virtual. Una evaluación integral debería considerar aprendizaje, carga cognitiva, participación, transferencia, usabilidad y sostenibilidad operativa. También importa determinar qué combinación tecnológica aporta valor y cuál agrega complejidad sin beneficio pedagógico apreciable.

La nueva generación de neurogamificación apunta hacia entornos capaces de aprender del estudiante mientras el estudiante aprende mediante ellos. Tal reciprocidad tecnológica resulta prometedora, pero demanda arquitecturas comprensibles, flexibles y subordinadas a propósitos educativos. Inteligencia artificial, realidad extendida y adaptación pueden formar experiencias ricas cuando actúan coordinadamente y permiten intervención humana significativa. La innovación alcanza mayor madurez cuando cada componente justifica su presencia por aquello que aporta al aprendizaje, no por la sofisticación técnica que exhibe.

Tabla 5
Dimensiones de la neurogamificación responsable y escenarios educativos de nueva generación

Dimensión del capítulo	Orientación académica y educativa
Neuroética y diseño persuasivo	Delimita criterios éticos para diseñar experiencias gamificadas capaces de influir en atención, motivación y conducta, preservando autonomía, dignidad, integridad mental y capacidad de decisión del estudiante.
Privacidad cognitiva y neurodatos	Aborda la protección de información derivada de la actividad neural, junto con consentimiento informado, minimización de datos, transparencia institucional y garantías frente a usos secundarios que

Dimensión del capítulo	Orientación académica y educativa
	excedan las necesidades pedagógicas declaradas.
Persuasión algorítmica y patrones adictivos	Examina los límites de recompensas, rachas, notificaciones y personalización conductual, priorizando autorregulación, pausas, desconexión voluntaria y métricas vinculadas con aprendizaje frente a indicadores centrados en permanencia o recurrencia.
Equidad neurodigital y sesgos algorítmicos	Analiza riesgos derivados de datos poco representativos, clasificaciones automatizadas y acceso tecnológico desigual. Promueve auditorías, explicabilidad, supervisión humana y oportunidades educativas que no conviertan diferencias estadísticas en trayectorias predeterminadas.
Interfaces cerebro-computadora	Considera el empleo de actividad neural como vía de interacción con experiencias gamificadas, atendiendo calibración, precisión, retroalimentación, accesibilidad y rutas alternativas que eviten atribuir errores tecnológicos a capacidades personales del estudiante.
IA, realidad extendida y aprendizaje adaptativo	Integra inteligencia artificial, entornos inmersivos, señales neurofisiológicas y adaptación dinámica dentro de ecosistemas coordinados, donde cada recurso tecnológico debe justificar su presencia mediante una contribución pedagógica verificable y una mediación humana significativa.
Proyección educativa responsable	Plantea una neurogamificación orientada al desarrollo humano, donde innovación y responsabilidad avancen conjuntamente. La personalización tecnológica adquiere legitimidad cuando amplía oportunidades de aprendizaje, respeta diferencias individuales y mantiene la tecnología subordinada a propósitos formativos.

Nota. La tabla organiza los ejes desarrollados en el Capítulo 5 y muestra su articulación desde la protección de la autonomía y los neurodatos hasta la integración responsable de interfaces neurales, inteligencia artificial, realidad extendida y aprendizaje adaptativo.

Conclusiones

La convergencia entre neurotecnología y gamificación permite comprender el aprendizaje como un proceso dinámico donde atención, motivación, memoria, emoción y participación mantienen relaciones recíprocas. El análisis desarrollado confirma que ninguna variable explica por sí misma la experiencia educativa. Los procesos neurocognitivos adquieren significado pedagógico cuando se interpretan junto con conductas, metas y características individuales. Desde dicha perspectiva, la tecnología cobra valor cuando amplía la comprensión del aprendizaje y orienta decisiones educativas fundamentadas, prudentes y centradas en la persona.

La atención constituye un proceso multidimensional cuya regulación depende de demandas cognitivas, características de las tareas, estímulos digitales y estados internos del estudiante. Las experiencias gamificadas pueden favorecer concentración, persistencia y orientación hacia metas cuando equilibran novedad, dificultad y retroalimentación. Sin embargo, una estimulación excesiva puede incrementar fatiga y dispersión. El diseño educativo requiere, por ello, administrar cuidadosamente ritmo, complejidad e intensidad sensorial, procurando que los recursos lúdicos favorezcan la actividad cognitiva vinculada con propósitos formativos claramente definidos.

La motivación representa otro eje determinante para comprender la permanencia dentro de ambientes gamificados. Recompensas, puntos, niveles y reconocimientos adquieren valor cuando guardan relación con autonomía, competencia, progreso y significado personal. Una arquitectura basada predominantemente en incentivos externos puede generar participación transitoria sin garantizar compromiso profundo. Por consiguiente, la gamificación educativa requiere vincular mecánicas lúdicas con metas intelectuales relevantes, experiencias de dominio progresivo y

oportunidades de decisión que permitan convertir participación inicial en disposición sostenida hacia el aprendizaje.

La personalización neuroadaptativa amplía las posibilidades del diseño educativo al permitir ajustes relacionados con dificultad, ritmo, retroalimentación, secuencia y modalidad de interacción. Su mayor aporte reside en reconocer variabilidad entre estudiantes y fluctuaciones dentro de una misma trayectoria. Sin embargo, personalizar no equivale a automatizar toda decisión pedagógica. Los algoritmos deben funcionar como instrumentos de apoyo para docentes y estudiantes, conservando espacios de interpretación humana, elección consciente y revisión crítica frente a recomendaciones derivadas de patrones cognitivos o conductuales.

El uso combinado de electroencefalografía, seguimiento ocular, biosensores y registros conductuales ofrece una visión más amplia de los procesos asociados con atención, esfuerzo, emoción y participación. Ninguna medición constituye una representación completa de la experiencia mental. Su valor depende de la triangulación, la calidad metodológica y la interpretación pedagógica. Los neurodatos requieren relacionarse con desempeño, percepción subjetiva y características de la actividad, evitando inferencias deterministas que atribuyan significados educativos directos a señales fisiológicas aisladas o a indicadores producidos algorítmicamente.

La inteligencia artificial y la analítica del aprendizaje pueden transformar grandes volúmenes de datos multimodales en información útil para detectar patrones, anticipar dificultades y ajustar experiencias formativas. Tal capacidad amplía las posibilidades de intervención oportuna. Aun cuando los modelos predictivos alcancen elevada precisión, una predicción no constituye una explicación pedagógica. Resulta necesario examinar variables utilizadas, criterios de clasificación, posibles sesgos y consecuencias derivadas de cada decisión automatizada,

manteniendo supervisión humana durante todas las etapas relevantes del proceso educativo.

La investigación examinada también permite concluir que no existe una configuración gamificada universalmente eficaz. Los efectos dependen del propósito educativo, perfil del alumnado, duración de la intervención, disciplina, diseño de las mecánicas y relación entre recompensa y aprendizaje. La evaluación debe trascender indicadores de participación inmediata para considerar comprensión, transferencia, retención, autorregulación y bienestar. Bajo tal orientación, diseñar experiencias gamificadas implica formular hipótesis pedagógicas verificables y evaluar resultados mediante métodos capaces de integrar evidencia cognitiva, conductual, afectiva y académica.

Las preguntas relacionadas con privacidad cognitiva, consentimiento y equidad adquieren particular relevancia cuando las tecnologías registran señales fisiológicas o generan inferencias acerca de estados mentales. La posibilidad técnica de recopilar información no legitima automáticamente su utilización educativa. Deben establecerse principios de minimización de datos, transparencia, seguridad, proporcionalidad y control por parte del estudiante. También resulta indispensable prevenir discriminaciones derivadas de modelos algorítmicos, perfiles neurocognitivos o categorías predictivas que puedan condicionar oportunidades académicas y limitar injustificadamente trayectorias personales futuras.

Las interfaces cerebro-computadora, la realidad extendida y los sistemas adaptativos impulsados por inteligencia artificial abren una etapa de creciente integración entre actividad humana y ambientes digitales. Su desarrollo educativo requiere investigación longitudinal, validación independiente y criterios claros de pertinencia pedagógica. La innovación adquiere sentido cuando responde a necesidades formativas demostrables. Por ello, el progreso del campo dependerá menos de incorporar tecnologías

novedosas que de construir relaciones equilibradas entre evidencia científica, diseño instruccional, accesibilidad, ética, bienestar y autonomía del estudiante.

En conjunto, los objetivos planteados permiten reconocer una orientación central: potenciar atención y motivación mediante neurotecnología y gamificación exige integrar conocimiento científico, sensibilidad pedagógica y responsabilidad ética. La educación del futuro puede beneficiarse de sistemas capaces de responder con mayor precisión a la diversidad cognitiva, pero deberá preservar la libertad de aprender sin vigilancia desproporcionada ni manipulación persuasiva. El horizonte más fecundo reside en desarrollar tecnologías que acompañen la agencia humana, fortalezcan experiencias significativas y mantengan al aprendizaje como propósito rector.

Referencias Bibliográficas

- Alsadoon, E., Alkhawajah, A., & Bin Suhaim, A. (2022). Effects of a gamified learning environment on students' achievement, motivations, and satisfaction. *Heliyon*, 8(8), e10249. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e10249>
- Anguera, J. A., Rowe, M. A., Volponi, J. J., et al. (2023). Enhancing attention in children using an integrated cognitive-physical videogame: A pilot study. *npj Digital Medicine*, 6, 65. <https://doi.org/10.1038/s41746-023-00812-z>
- Coban, M., Bolat, Y. I., & Goksu, I. (2022). The potential of immersive virtual reality to enhance learning: A meta-analysis. *Educational Research Review*, 36, 100452. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2022.100452>
- de Oliveira, C. F., Sobral, S. R., Ferreira, M. J., & Moreira, F. (2021). How does learning analytics contribute to prevent students' dropout in higher education: A systematic literature review. *Big Data and Cognitive Computing*, 5(4), 64. <https://doi.org/10.3390/bdcc5040064>
- González-González, C. S., Muñoz-Cruz, V., Toledo-Delgado, P. A., & Nacimiento-García, E. (2023). Personalized gamification for learning: A reactive chatbot architecture proposal. *Sensors*, 23(1), 545. <https://doi.org/10.3390/s23010545>
- Hung, J.-L., & Li, H. (2024). An EEG study on college students' attention levels in a blended computer science class. *Innovations in Education and Teaching International*, 61(4), 789–801. <https://doi.org/10.1080/14703297.2023.2166562>
- Khosravi, S., Bailey, S. G., Parvizi, H., & Ghannam, R. (2022). Wearable sensors for learning enhancement in higher education. *Sensors*, 22(19), 7633. <https://doi.org/10.3390/s22197633>
- Lampropoulos, G., & Kinshuk. (2024). Virtual reality and gamification in education: A systematic review. *Educational Technology Research and Development*, 72, 1691–1785. <https://doi.org/10.1007/s11423-024-10351-3>

- Lavazza, A., & Giorgi, R. (2023). Philosophical foundation of the right to mental integrity in the age of neurotechnologies. *Neuroethics*, 16, 10. <https://doi.org/10.1007/s12152-023-09517-2>
- Li, L., Hew, K. F., & Du, J. (2024). Gamification enhances student intrinsic motivation, perceptions of autonomy and relatedness, but minimal impact on competency: A meta-analysis and systematic review. *Educational Technology Research and Development*, 72, 765–796. <https://doi.org/10.1007/s11423-023-10337-7>
- Li, M., Ma, S., & Shi, Y. (2023). Examining the effectiveness of gamification as a tool promoting teaching and learning in educational settings: A meta-analysis. *Frontiers in Psychology*, 14, 1253549. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2023.1253549>
- Ligthart, S., Ienca, M., Meynen, G., et al. (2023). Minding rights: Mapping ethical and legal foundations of ‘neurorights’. *Cambridge Quarterly of Healthcare Ethics*, 32(4), 461–481. <https://doi.org/10.1017/S0963180123000245>
- López-Jiménez, J. J., Fernández-Alemán, J. L., García-Berná, J. A., et al. (2021). Effects of gamification on the benefits of student response systems in learning of human anatomy: Three experimental studies. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(24), 13210. <https://doi.org/10.3390/ijerph182413210>
- Ouhaichi, H., Spikol, D., & Vogel, B. (2023). Research trends in multimodal learning analytics: A systematic mapping study. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 4, 100136. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2023.100136>
- Pattemore, M., & Gilabert, R. (2023). Using eye-tracking to measure cognitive engagement with feedback in a digital literacy game. *Language Learning Journal*, 51, 472–490. <https://doi.org/10.1080/09571736.2023.2207582>
- Privitera, A. J., & Du, H. (2022). Educational neurotechnology: Where do we go from here? *Trends in Neuroscience and Education*, 29, 100195. <https://doi.org/10.1016/j.tine.2022.100195>

- Ritzhaupt, A. D., Huang, R., Sommer, M., Zhu, J., Stephen, A., Valle, N., Hampton, J., & Li, J. (2021). A meta-analysis on the influence of gamification in formal educational settings on affective and behavioral outcomes. *Educational Technology Research and Development*, 69, 2493–2522. <https://doi.org/10.1007/s11423-021-10036-1>
- Sailer, M., & Homner, L. (2020). The gamification of learning: A meta-analysis. *Educational Psychology Review*, 32, 77–112. <https://doi.org/10.1007/s10648-019-09498-w>
- Scharinger, C., Prislán, L., Bernecker, K., & Ninaus, M. (2023). Gamification of an n-back working memory task—Is it worth the effort? An EEG and eye-tracking study. *Biological Psychology*, 179, 108545. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2023.108545>
- Vidanaralage, A. J., Dharmaratne, A. T., & Haque, S. (2022). AI-based multidisciplinary framework to assess the impact of gamified video-based learning through schema and emotion analysis. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 3, 100109. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2022.100109>
- Watanabe, H., & Naruse, Y. (2022). P300 as a neural indicator for setting levels of goal scores in educational gamification applications from the perspective of intrinsic motivation: An ERP study. *Frontiers in Neuroergonomics*, 3, 948080. <https://doi.org/10.3389/fnrgo.2022.948080>
- Xiao, Y., & Hew, K. F. (2024). Personalized gamification versus one-size-fits-all gamification in fully online learning: Effects on student motivational, behavioral and cognitive outcomes. *Learning and Individual Differences*, 113, 102470. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2024.102470>
- Yuste, R. (2023). Advocating for neurodata privacy and neurotechnology regulation. *Nature Protocols*, 18, 2869–2875. <https://doi.org/10.1038/s41596-023-00873-0>
- Zorrilla Pantaleón, M. E., García-Saiz, D., & de la Vega, A. (2021). Fostering study time outside class using gamification strategies: An experimental study at tertiary-level database courses. *Computer Applications in*

Engineering Education, 29, 1340–1357.
<https://doi.org/10.1002/cae.22389>

Zourmpakis, A.-I., Kalogiannakis, M., & Papadakis, S. (2023). Adaptive gamification in science education: An analysis of the impact of implementation and adapted game elements on students' motivation. *Computers*, 12(7), 143. <https://doi.org/10.3390/computers12070143>



Red de Investigación
Científica y Desarrollo
Tecnológico **Del Pacífico**

LA CONVERGENCIA ENTRE
NEUROTECNOLOGÍA Y GAMIFICACIÓN
TRANSFORMA LA **ATENCIÓN** EN APRENDIZAJE
Y LA **MOTIVACIÓN** EN CRECIMIENTO.


EDITORIAL
SAGA

ISBN: 978-9907-803-73-0

