

Modelo ARCS y neurociencia educativa: enfoque transformador para la enseñanza integrada de inglés y STEM

ARCS Model and Educational Neuroscience: A Transformative Approach for Integrated English and STEM Teaching

Modelo ARCS e Neurociência Educacional: Uma Abordagem Transformadora para o Ensino Integrado de Inglês e STEM

Sandro Quintuña¹, Verónica Herrera²

Recibido: 02/05/2024, Revisado: 17/06/2024, Aceptado: 22/07/2024, Publicado: 01/08/2024

Cita sugerida (APA, séptima edición): Quintuña Padilla, S. X., & Herrera Caldas, V. A. (2024). Modelo ARCS y neurociencia educativa: Un enfoque transformador para la enseñanza integrada de inglés y STEM. *Revista Multidisciplinaria Voces De América Y El Caribe*, 1(2), 119-142. <https://remuvac.com/index.php/home/article/view/46>

Resumen

Contexto: La integración de la enseñanza del inglés con las disciplinas STEM (Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas, por sus siglas en inglés) ha ganado terreno como un enfoque innovador para potenciar el aprendizaje y formar a los estudiantes para enfrentar los desafíos venideros. **Objetivo:** Presentar un marco fundamentado en el modelo ARCS (Atención, Relevancia, Confianza y Satisfacción) para diseñar programas educativos que integren efectivamente la enseñanza del inglés y las disciplinas STEM, considerando los principios de la neurociencia educativa. **Método:** Se realizó una revisión de la literatura en bases de datos

¹ Universidad Nacional de Educación, Carreras de Educación en Línea, Profesor de Matemática Elemental, Ecuador, <https://orcid.org/0000-0002-4513-3398>, sandro.quintuna@unae.edu.ec

² Universidad Nacional de Educación, Pedagogía de los Idiomas Nacionales y Extranjeros, Profesora de Didáctica, Ecuador, <https://orcid.org/0000-0001-6848-2657>, veronica.herrera@unae.edu.ec



académicas, aplicando filtros para incluir estudios pertinentes sobre la integración de la enseñanza del inglés con STEM, el modelo ARCS y la neurociencia educativa para identificar patrones y temas recurrentes. **Resultados:** Se presentan estrategias y ejemplos concretos para aplicar el modelo ARCS en la enseñanza integrada de inglés y STEM, respaldados por principios neurocientíficos. Se incluye un ejemplo detallado de una clase de inglés de nivel C1 con temática STEM, centrada en la biomimética, que ilustra la aplicación práctica del modelo ARCS. Se destacan casos de éxito y desafíos reportados en la literatura. **Conclusión:** El modelo ARCS, respaldado por la neurociencia educativa, ofrece un marco sólido para diseñar programas que integren la enseñanza del inglés y las disciplinas STEM, promoviendo un aprendizaje motivador, significativo y duradero.

Palabras clave: STEM, enseñanza del inglés, neurociencia educativa, modelo ARCS, diseño instruccional, aprendizaje integrado.

Abstract

Context: The integration of English language teaching with STEM disciplines (Science, Technology, Engineering, and Mathematics) has gained ground as an innovative approach to enhance learning and prepare students to face future challenges. **Objective:** To present a framework based on the ARCS model (Attention, Relevance, Confidence, and Satisfaction) for designing educational programs that effectively integrate English language teaching and STEM disciplines, considering the principles of educational neuroscience. **Method:** A literature review was conducted in academic databases, applying filters to include relevant studies on the integration of English teaching with STEM, the ARCS model, and educational neuroscience to identify patterns and recurring themes. **Results:** Strategies and concrete examples are presented to apply the ARCS model in integrated English and STEM teaching, supported by neuroscientific

¹ Universidad Nacional de Educación, Carreras de Educación en Línea, Profesor de Matemática Elemental, Ecuador, <https://orcid.org/0000-0002-4513-3398>, sandro.quintuna@unae.edu.ec

² Universidad Nacional de Educación, Pedagogía de los Idiomas Nacionales y Extranjeros, Profesora de Didáctica, Ecuador, <https://orcid.org/0000-0001-6848-2657>, veronica.herrera@unae.edu.ec



principles. A detailed example of a C1-level English class with a STEM theme, focused on biomimetics, is included to illustrate the practical application of the ARCS model. Success cases and challenges reported in the literature are highlighted. **Conclusion:** The ARCS model, supported by educational neuroscience, offers a solid framework for designing programs that integrate English language teaching and STEM disciplines, promoting motivating, meaningful, and lasting learning.

Keywords: STEM, English language teaching, educational neuroscience, ARCS model, instructional design, integrated learning.

Resumo

Contexto: A integração do ensino de inglês com as disciplinas STEM (Ciência, Tecnologia, Engenharia e Matemática, na sigla em inglês) tem ganhado espaço como uma abordagem inovadora para potencializar a aprendizagem e preparar os estudantes para enfrentar os desafios futuros. **Objetivo:** Apresentar um marco fundamentado no modelo ARCS (Atenção, Relevância, Confiança e Satisfação) para desenhar programas educativos que integrem efetivamente o ensino de inglês e as disciplinas STEM, considerando os princípios da neurociência educacional.

Método: Realizou-se uma revisão da literatura em bases de dados acadêmicas, aplicando filtros para incluir estudos pertinentes sobre a integração do ensino de inglês com STEM, o modelo ARCS e a neurociência educacional para identificar padrões e temas recorrentes. **Resultados:** São apresentadas estratégias e exemplos concretos para aplicar o modelo ARCS no ensino integrado de inglês e STEM, respaldados por princípios neurocientíficos. Inclui-se um exemplo detalhado de uma aula de inglês de nível C1 com temática STEM, centrada na biomimética, que ilustra a aplicação prática do modelo ARCS. Destacam-se casos de sucesso e desafios relatados na literatura. **Conclusão:** O modelo ARCS, respaldado pela neurociência educacional, oferece

¹ Universidad Nacional de Educación, Carreras de Educación en Línea, Profesor de Matemática Elemental, Ecuador, <https://orcid.org/0000-0002-4513-3398>, sandro.quintuna@unae.edu.ec

² Universidad Nacional de Educación, Pedagogía de los Idiomas Nacionales y Extranjeros, Profesora de Didáctica, Ecuador, <https://orcid.org/0000-0001-6848-2657>, veronica.herrera@unae.edu.ec

um marco sólido para desenhar programas que integrem o ensino de inglês e as disciplinas STEM, promovendo uma aprendizagem motivadora, significativa e duradoura.

Palavras-chave: STEM, ensino de inglês, neurociência educacional, modelo ARCS, design instrucional, aprendizagem integrada.

¹ Universidad Nacional de Educación, Carreras de Educación en Línea, Profesor de Matemática Elemental, Ecuador, <https://orcid.org/0000-0002-4513-3398>, sandro.quintuna@unae.edu.ec

² Universidad Nacional de Educación, Pedagogía de los Idiomas Nacionales y Extranjeros, Profesora de Didáctica, Ecuador, <https://orcid.org/0000-0001-6848-2657>, veronica.herrera@unae.edu.ec

Introducción

La integración de la enseñanza del inglés con las disciplinas STEM (Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas) en un mundo globalizado y tecnológico, se ha convertido en un enfoque prometedor para preparar a los estudiantes para los desafíos actuales y venideros (Tüysüz et al., 2020; Santos y Mortimer, 2009). Este enfoque, permite a los estudiantes desarrollar sus habilidades lingüísticas en inglés mientras exploran conceptos científicos y tecnológicos de manera práctica y relevante (Coyle et al., 2010; Pérez-Cañado, 2018), brindándoles innovadores escenarios de aprendizaje y aportando oportunidades para desarrollar competencias esenciales como: la resolución de problemas, el razonamiento analítico y una comunicación efectiva (Kelley y Knowles, 2016; Hallström y Schönborn, 2019).

No obstante, para maximizar estos enfoques es crucial considerar los principios de la neurociencia educativa, un campo interdisciplinario que combina: conocimientos de educación, psicología y neurociencia para comprender cómo aprende el cerebro y aplicar estos hallazgos en el diseño de experiencias de aprendizaje efectivas (Tokuhama-Espinosa, 2010; Immordino-Yang y Gotlieb, 2017). La neurociencia educativa proporciona una base sólida para el diseño instruccional, esto debido a que revela los procesos cerebrales que intervienen en el aprendizaje y la retención de información en la memoria (Sousa, 2017), permitiendo a los educadores crear estrategias pedagógicas que optimicen el aprendizaje y fomenten un desarrollo cognitivo saludable (Immordino-Yang y Damasio, 2007).

En este contexto, el modelo ARCS (Atención, Relevancia, Confianza y Satisfacción), propuesto por John Keller (1987), ha surgido como uno de los modelos instruccionales más usados en la neurociencia. Este modelo estimula la motivación de los estudiantes a través de cuatro componentes clave: captar su atención, establecer la

relevancia del contenido, fomentar su confianza y lograr su satisfacción. El modelo ARCS ha sido ampliamente aplicado en diversos contextos educativos, demostrando su eficacia para optimizar el rendimiento y mejorar la motivación de los estudiantes (Keller, 2009; Woo, 2014).

Diversos estudios han explorado la aplicación del modelo ARCS en múltiples escenarios educativos, incluyendo ámbitos de educación mediados por computadoras (Li y Keller, 2018). Estos estudios han demostrado la eficacia del modelo ARCS en el mejoramiento de la motivación en los estudiantes de diversos contextos, como cursos de programación (Chang et al., 2018), sesiones de alfabetización informacional (Reynolds et al., 2017) y clases de química (Feng yTuan, 2005). La integración del modelo ARCS con enfoques pedagógicos como el aula invertida y el aprendizaje basado en problemas (ABP), ha demostrado efectos prometedores en términos del rendimiento académico y motivación (Chang et al., 2018; Saputri et al., 2020).

Estudios recientes sobre la enseñanza integrada de inglés y STEM han destacado el potencial del modelo ARCS para mejorar los resultados de aprendizaje y la motivación de los estudiantes. Es así que, Roemintoyo et al. (2022) encontraron en estudiantes de escuelas secundarias vocacionales, que la implementación del modelo ARCS en la enseñanza mejoró significativamente los resultados de aprendizaje. Asimismo, Kim (2020) demostró que la aplicación del modelo ARCS en clases de inglés para negocios mejoró el rendimiento académico y la motivación de los estudiantes en comparación con una enseñanza tradicional.

Sin embargo, a pesar de estos hallazgos prometedores, aún se necesitan más investigaciones que exploren y evidencien que la integración del modelo ARCS y los principios de la neurociencia educativa en el diseño de programas educativos que combinen

la enseñanza del inglés y las disciplinas STEM. Existe una necesidad de comprender mejor cómo esta integración puede optimizar el aprendizaje, desarrollar habilidades críticas y preparar a los estudiantes apropiadamente. Por lo tanto, es importante identificar las estrategias efectivas y los desafíos potenciales en la implementación de este enfoque innovador en diferentes contextos educativos.

Este artículo tiene como objetivo presentar un marco cimentado en el modelo ARCS para diseñar programas educativos que integren efectivamente la enseñanza del inglés y las disciplinas STEM, considerando los principios de la neurociencia educativa. Se analizarán los fundamentos neurocientíficos que respaldan cada componente del modelo ARCS, sobre la aplicación de este enfoque integrado en la enseñanza del inglés en combinación con STEM, con el fin de brindar a los educadores y responsables de políticas educativas un marco inicial y sólidamente fundamentado en la neurociencia para el diseño de programas que fomenten un aprendizaje profundo y duradero en los estudiantes.

Materiales y métodos

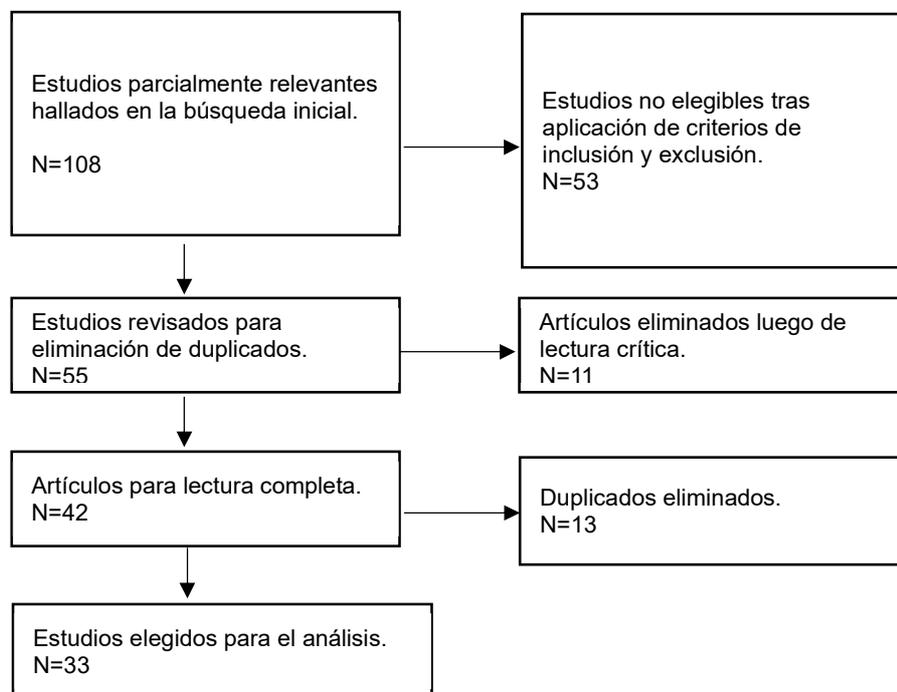
Esta investigación realizó una revisión de la literatura sobre la enseñanza del inglés con STEM, desde un enfoque de la neurociencia educativa y el modelo ARCS. Las búsquedas se realizaron en estas bases de datos académicas: Web of Science, Scopus, y Google Scholar; utilizando una combinación de palabras clave relevantes en inglés: “STEM”, “English Teaching”, “Educational Neuroscience”, “ARCS Model”, “Instructional Design”, e “Integrated Learning”. La ecuación de búsqueda se construyó combinando estos términos con operadores booleanos para garantizar la exhaustividad y precisión de los resultados. La ecuación de búsqueda utilizada fue:

("STEM" AND "englishteaching" AND "educational neuroscience" AND "ARCS model" AND "instructional design" AND "integrated learning")

La Figura 1 presenta el proceso de cribado y selección de los artículos incluidos en esta revisión. Los artículos seleccionados se fundamentan en filtros predefinidos, evaluando la calidad y pertinencia de los estudios desde el año 2010. Se priorizaron artículos publicados en revistas revisadas por pares, así como libros y capítulos del campo de la neurociencia educativa y el diseño instruccional. Mientras tanto, los criterios de exclusión fueron: artículos no revisados por pares; estudios no centrados en la integración de inglés con STEM; modelos ARCS o neurociencia educativa; y textos en idiomas distintos al inglés, español o portugués.

Figura 1

Proceso de cribado y selección de artículos.



Fuente: Elaboración propia.

Esta investigación cualitativa sigue las directrices de Creswell y Poth (2018) para el análisis de los datos. Se realizó un proceso de codificación temática, identificando patrones y temas recurrentes en la literatura. Se prestó especial atención a los principios neurocientíficos que sustentan cada componente del modelo ARCS y la enseñanza integrada de inglés y STEM. Se seleccionaron casos de implementaciones exitosas y desafíos reportados en la literatura, con el fin de identificar factores clave que contribuyen al éxito de la mejora en la aplicación del modelo ARCS en este contexto educativo.

Las preguntas de investigación que guiaron este estudio para fueron:

1. ¿Cómo pueden integrarse efectivamente el modelo ARCS y los principios neurocientíficos en el diseño de programas que combinen la enseñanza del inglés y las disciplinas STEM?
2. ¿Qué estrategias basadas en el modelo ARCS y la neurociencia educativa han demostrado ser efectivas para mejorar el aprendizaje y la motivación de los estudiantes en la enseñanza integrada de inglés y STEM?
3. ¿Cuáles son los desafíos y las oportunidades reportados en la literatura al aplicar el modelo ARCS y los principios neurocientíficos en este contexto educativo?

Al abordar estas preguntas, esta investigación busca proporcionar un marco sólido y orientación práctica para los educadores interesados en integrar el inglés y las disciplinas STEM de manera efectiva, basándose en los fundamentos de la neurociencia educativa y el modelo ARCS.

Resultados y discusión

La Tabla 1 presenta los resultados de la revisión bibliográfica y análisis temático. El modelo ARCS, respaldado por los principios de la neurociencia educativa, ofrece un

marco efectivo para diseñar programas que integren la enseñanza del inglés y las disciplinas STEM, adaptándose a diferentes etapas de desarrollo. Este enfoque se basa en evidencia empírica sobre la plasticidad neuronal a lo largo del ciclo vital (Voss et al., 2017) y la versatilidad del modelo ARCS en diversos contextos educativos (Keller, 2016). Adicionalmente, la adaptabilidad de los principios neurocientíficos del aprendizaje a necesidades de desarrollo específicas sugiere la potencial eficacia de este marco en diferentes etapas educativas (Immordino-Yang et al., 2019). Sin embargo, se requieren estudios adicionales para validar su efectividad en la integración específica de la enseñanza del inglés y las disciplinas STEM.

Tabla 1.

Componentes del modelo ARCS, principios neurocientíficos y estrategias de implementación en la enseñanza integrada de inglés y STEM.

Componente	Descripción	Principios neurocientíficos	Estrategias de implementación
Atención (A)	Despertar el interés de los estudiantes mediante actividades novedosas y desafiantes.	La novedad y el desafío activan el sistema de recompensa del cerebro, liberando dopamina y favoreciendo el aprendizaje (Tyng et al., 2017; Mayer, 2014).	<ul style="list-style-type: none"> - Utilizar actividades de inicio sorprendentes, como experimentos científicos o demostraciones tecnológicas innovadoras (Tüysüz et al., 2020; Kelley y Knowles, 2016). - Incorporar elementos multimedia atractivos y recursos visuales impactantes (Li y Keller, 2018; Woo, 2014). - Presentar problemas auténticos del mundo real que requieran el uso del inglés para su resolución (Pérez-Cañado, 2018; Coyle et al., 2010).
Relevancia (R)	Establecer la relevancia del contenido vinculándolo con	El aprendizaje es más significativo cuando el contenido se percibe como relevante y conectado con	<ul style="list-style-type: none"> - Vincular los conceptos con situaciones de la vida cotidiana y aplicaciones prácticas (Stohlmann et al., 2012; Santos y Mortimer, 2009).

	los intereses y metas personales de los estudiantes.	los intereses y metas personales del individuo (Dichter et al., 2012; Immordino-Yang y Damasio, 2007).	- Fomentar la reflexión sobre la utilidad de los conocimientos y habilidades adquiridos para los planes futuros de los estudiantes (Zepeda et al., 2015). - Utilizar ejemplos y casos de estudio en función del contexto cultural y social de los estudiantes (Pérez-Cañado, 2018; Coyle et al., 2010).
Confianza (C)	Construir la confianza de los estudiantes a través de retroalimentación oportuna y oportunidades de éxito.	La confianza en las propias capacidades influye en la motivación, el esfuerzo y la perseverancia del estudiante (Bandura, 1997).	- Proporcionar retroalimentación constructiva y oportuna, permitiendo a los estudiantes corregir errores y reforzar sus fortalezas (Hattie y Timperley, 2007; Hallström y Schönborn, 2019). - Ofrecer oportunidades para el éxito a través de actividades graduadas en dificultad (Li y Keller, 2018; Woo, 2014). - Fomentar el trabajo colaborativo y la tutoría entre pares (Pérez-Cañado, 2018; Coyle et al., 2010).
Satisfacción (S)	Lograr la satisfacción de los estudiantes involucrándolos en proyectos auténticos y celebrando sus logros.	La satisfacción y las emociones positivas asociadas al aprendizaje refuerzan la consolidación de la memoria y la transferencia de conocimientos (Tyng et al., 2017; Burgdorf y Panksepp, 2006).	- Involucrar a los estudiantes en proyectos desafiantes y auténticos que les permitan aplicar sus conocimientos y habilidades (Stohlmann et al., 2012; Santos y Mortimer, 2009). - Celebrar los logros y el progreso de los estudiantes, reconociendo su esfuerzo y dedicación (Zepeda et al., 2015). - Facilitar la reflexión y la autoevaluación, permitiendo a los estudiantes reconocer sus fortalezas y áreas de mejora (Köster et al., 2017; Hallström y Schönborn, 2019).

Fuente: Elaboración propia en función del modelo ARCS y artículos seleccionados.

Estos componentes y estrategias se fundamentan en el conocimiento actual sobre cómo el cerebro aprende y procesa la información, y tienen como objetivo optimizar el aprendizaje y la motivación de los estudiantes. Por ejemplo, el despertar la atención puede

captarse mediante el uso de actividades de inicio sorprendentes, como experimentos científicos o demostraciones tecnológicas innovadoras (Kelley y Knowles, 2016; Hallström y Schönborn, 2019), aprovechando la activación del sistema de recompensa cerebral y la liberación de dopamina, elementos que favorecen el aprendizaje (Sousa, 2017; Immordino-Yang y Gotlieb, 2017).

Asimismo, la relevancia del contenido puede establecerse al vincular los conceptos con situaciones de la vida cotidiana y aplicaciones prácticas (Stohlmann et al., 2012; Santos y Mortimer, 2009), lo que activa regiones cerebrales asociadas con la motivación intrínseca, como el área tegmental ventral y el núcleo accumbens (Dichter et al., 2012). La confianza de los estudiantes puede fomentarse a través de retroalimentación constructiva y oportuna (Kelley y Knowles, 2016; Hallström y Schönborn, 2019), lo que optimiza el aprendizaje al mantener un equilibrio entre el desafío y la habilidad percibida (Thomas et al., 2019).

Por último, la satisfacción de los estudiantes puede lograrse involucrándolos en proyectos desafiantes y auténticos que permiten aplicar sus conocimientos y habilidades (Santos y Mortimer, 2009), generando emociones positivas y una mayor consolidación de la memoria gracias a la activación del sistema de recompensa cerebral y la liberación de dopamina (Burgdorf y Panksepp, 2006; Keller, 2009).

Para ilustrar cómo este enfoque innovador puede implementarse en la práctica, la Tabla 2 presenta un ejemplo detallado de una clase de inglés de nivel C1 con temática STEM, centrada en la biomimética, que incorpora los principios del modelo ARCS y la neurociencia educativa.

Tabla 2.

Ejemplo de clase de inglés de nivel C1 con temática STEM (biomimética) aplicando el modelo ARCS y principios neurocientíficos.

Componente	Descripción de la actividad	Principios neurocientíficos	Estrategias de implementación
Atención (A)	<p>Presentar un video impactante que muestre ejemplos asombrosos de biomimética, como el diseño de trenes inspirado en el pico del martín pescador o la creación de adhesivos basados en las almohadillas de las patas del gecko.</p> <p>Organizar una discusión en clase sobre las maravillas de la naturaleza y cómo pueden inspirar soluciones innovadoras en ingeniería.</p>	<p>La novedad y la sorpresa activan la red de saliencia del cerebro, que regula la atención y promueve la formación de recuerdos duraderos (Ranganath y Rainer, 2003). Los estímulos emocionalmente significativos, como la fascinación por la naturaleza, mejoran la atención y la retención de información (Tyng et al., 2017).</p>	<p>- Seleccionar videos de alta calidad con ejemplos impresionantes y poco conocidos de biomimética.</p> <p>- Plantear preguntas abiertas que estimulen la reflexión y la expresión de sentimientos de admiración y curiosidad por la naturaleza.</p>
Relevancia (R)	<p>Asignar a los estudiantes la lectura de un artículo científico sobre un proyecto de biomimética aplicado a un problema de ingeniería relevante para sus intereses o especialidades. Pedirles que preparen un resumen oral del artículo, destacando la inspiración biológica, el problema abordado y la solución propuesta.</p>	<p>El aprendizaje es más significativo cuando el contenido se relaciona con los intereses y metas personales del estudiante, activando regiones cerebrales asociadas con la motivación intrínseca, como el área tegmental ventral y el núcleo accumbens (Dichter et al., 2012). La elaboración personal del material de aprendizaje, como mediante la explicación a otros, fortalece las conexiones neuronales y la memoria (Sekeres et al., 2016).</p>	<p>- Proporcionar una selección diversa de artículos científicos que abarquen diferentes áreas de interés en ingeniería, permitiendo a los estudiantes elegir según sus preferencias individuales.</p> <p>- Brindar pautas claras y criterios específicos para la preparación del resumen oral, enfatizando la importancia de la elaboración personal y la conexión con la relevancia del tema.</p>

<p>Confianza (C)</p>	<p>Organizar un debate en clase sobre los desafíos y consideraciones éticas en la aplicación de la biomimética en la ingeniería. Dividir a los estudiantes en grupos y asignar a cada uno un rol específico (por ejemplo, ingeniero, biólogo, ambientalista, legislador) para que defiendan una postura informada durante el debate. Proporcionar recursos adicionales y apoyo para la preparación de argumentos.</p>	<p>La participación activa en discusiones y la asunción de roles fomentan la confianza en las propias habilidades comunicativas y de pensamiento crítico, activando regiones cerebrales relacionadas con la autoeficacia y la valoración de incentivos, como la corteza prefrontal y la amígdala (Hattie y Timperley, 2007). La provisión de apoyo y retroalimentación adaptada al nivel de competencia del estudiante optimiza el aprendizaje (Thomas et al., 2019).</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Seleccionar roles que se ajusten a los conocimientos previos y habilidades de los estudiantes, brindando oportunidades para que todos participen activamente en el debate. - Circular entre los grupos durante la preparación, ofreciendo orientación y retroalimentación específica para cada rol y nivel de competencia.
<p>Satisfacción (S)</p>	<p>Desafiar a los estudiantes a diseñar su propio proyecto de biomimética en parejas o grupos pequeños. Pedirles que identifiquen un problema de ingeniería, investiguen sobre organismos o sistemas naturales que puedan servir como inspiración y propongan una solución innovadora. Organizar una presentación final en la que los estudiantes expongan sus proyectos y reciban comentarios constructivos de sus compañeros y del docente. Concluir con una reflexión individual sobre el proceso de</p>	<p>El compromiso en proyectos creativos y desafiantes que permiten la aplicación de conocimientos y habilidades genera emociones positivas y una mayor satisfacción con el aprendizaje, lo que se asocia con la activación de recompensa cerebral y la liberación de dopamina (Burgdorf y Panksepp, 2006). La reflexión sobre el propio aprendizaje y su relevancia para metas</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Proporcionar criterios claros y ejemplos inspiradores para el proyecto de biomimética, fomentando la creatividad y la toma de riesgos intelectuales. - Crear un ambiente de aprendizaje seguro y de apoyo durante las presentaciones, destacando los logros y el esfuerzo de cada grupo.

aprendizaje y cómo la biomimética puede contribuir a un futuro más sostenible.	futuras promueve la transferencia de conocimientos y la consolidación de la memoria a nuevos contextos (Köster et al., 2017).	- Guiar la reflexión individual mediante preguntas que conecten el aprendizaje con las metas personales y el impacto en la sociedad.
--	---	--

Fuente: Elaboración propia en función del modelo ARCS y artículos seleccionados.

Este ejemplo de clase demuestra cómo la integración del modelo ARCS y los principios neurocientíficos puede enriquecer la enseñanza de inglés y STEM, incluso en niveles avanzados de competencia lingüística. Al seleccionar un tema fascinante y relevante como la biomimética, y al diseñar actividades que promuevan la relevancia, la atención, la satisfacción y la confianza, los educadores pueden crear un entorno de aprendizaje altamente motivador y efectivo. Este enfoque innovador mejora las habilidades lingüísticas y la adquisición de conocimientos, también se fomenta el desarrollo de competencias esenciales en STEM, como el pensamiento crítico, la creatividad y la resolución de problemas. De igual manera, al abordar temáticas con impacto social y ambiental, este modelo de enseñanza integrada prepara a los estudiantes a los desafíos del siglo XXI.

La aplicabilidad del modelo ARCS en el diseño de programas educativos que integren la enseñanza del inglés y las disciplinas STEM, basándose en los principios de la neurociencia educativa, ha demostrado ser efectiva en diversos casos reportados en la literatura (Chang et al., 2018; Feng yTuan, 2005; Kim, 2020; Roemintoyo et al., 2022). La incorporación de fundamentos neurocientíficos en cada componente del modelo ARCS puede potenciar la motivación y el aprendizaje de los estudiantes en diferentes niveles de competencia lingüística y temáticas STEM.

La integración de la neurociencia educativa y el modelo ARCS permite abordar los aspectos cognitivos, emocionales y motivacionales del aprendizaje de manera holística. Al captar la atención de los estudiantes mediante estímulos novedosos y emocionalmente significativos, se activan regiones cerebrales clave para el aprendizaje, como el sistema de recompensa y la red de saliencia (Sousa, 2017; Ranganathy Rainer, 2003). Aparte, al establecer la relevancia del contenido a través de la conexión con intereses personales y problemas del mundo real, se fomenta la motivación intrínseca y se facilita la formación de redes neuronales duraderas (Immordino-Yang y Damasio, 2007; Dichter et al., 2012).

Asimismo, la creación de confianza en los estudiantes mediante retroalimentación oportuna y oportunidades de éxito graduadas optimiza el aprendizaje al mantener un equilibrio entre el desafío y la habilidad percibida (Thomas et al., 2019). La participación activa en debates, proyectos y actividades colaborativas fortalece las habilidades de pensamiento crítico y comunicación, activando regiones cerebrales asociadas con la autoeficacia y la valoración de incentivos (Hattie y Timperley, 2007).

La satisfacción lograda a través de proyectos auténticos y la celebración de logros genera emociones positivas y una mayor consolidación de la memoria, gracias a la activación del sistema de recompensa cerebral y la liberación de la dopamina (Burgdorf y Panksepp, 2006; Keller, 2009). La reflexión sobre el propio aprendizaje y su relevancia para metas futuras promueve la transferencia de conocimientos a nuevos contextos y la formación de conexiones neuronales significativas (Köster et al., 2017).

No obstante, la implementación exitosa del modelo ARCS y los principios neurocientíficos en la enseñanza integrada de inglés y STEM requiere una cuidadosa planificación, capacitación docente y adaptación a los contextos específicos de aprendizaje. Los educadores deben estar familiarizados con los fundamentos de la neurociencia

educativa y recibir apoyo continuo para incorporar estrategias basadas en el modelo ARCS en sus prácticas pedagógicas (Coyle et al., 2010). Adicionalmente, es necesario considerar el contexto individual de los estudiantes, como sus estilos de aprendizaje, antecedentes culturales y niveles de competencia lingüística, al diseñar programas educativos que integren inglés y STEM. La adaptación de las estrategias del modelo ARCS a las características y necesidades específicas de cada grupo de estudiantes es esencial para maximizar su eficacia y promover un aprendizaje equitativo e inclusivo.

Conclusiones

El modelo ARCS, respaldado por los principios de la neurociencia educativa, ofrece un marco sólido para el diseño de programas educativos que integren la enseñanza del inglés y las disciplinas STEM, promoviendo un aprendizaje motivador, significativo y duradero. Al abordar los componentes de atención, relevancia, confianza y satisfacción, e incorporar estrategias basadas en el funcionamiento del cerebro, los educadores pueden crear experiencias de aprendizaje óptimas que potencien el desarrollo de habilidades, la adquisición de conocimientos y la transferencia de aprendizajes a contextos del mundo real.

La integración de la neurociencia educativa y el modelo ARCS en la enseñanza de inglés y STEM, según la revisión y sistematización realizada, mejora los resultados de aprendizaje, además de fomentar el desarrollo de competencias esenciales para el mundo actual, como la creatividad, el pensamiento crítico, la resolución de problemas y la comunicación efectiva. Asimismo, al abordar temáticas relevantes y desafiantes, como la biomimética, se promueve la conciencia ambiental y la búsqueda de soluciones sostenibles, preparando a los estudiantes para enfrentar desafíos actuales y futuros.

La implementación exitosa de este enfoque, es fundamental proporcionar a los educadores la capacitación y los recursos necesarios para comprender y aplicar los principios neurocientíficos y el modelo ARCS en sus prácticas pedagógicas. Asimismo, se requiere un compromiso institucional para promover la colaboración interdisciplinaria, la investigación continua y la valoración constante de estos programas educativos integrados.

Se puede decir que la integración de la neurociencia educativa y el modelo ARCS en la enseñanza de inglés y STEM ofrece un enfoque prometedor para transformar la educación y dotar a los estudiantes de competencias para los desafíos actuales. Al diseñar programas educativos que se alineen con el funcionamiento del cerebro y promuevan la motivación, la confianza, la relevancia y la satisfacción, los educadores pueden potenciar el aprendizaje, fomentar el desarrollo de habilidades críticas y formar ciudadanos globales capaces de solucionar los desafíos de nuestro mundo actual y futuro.

Se espera que este artículo inspire a educadores, investigadores y responsables de políticas educativas a explorar y adoptar este enfoque innovador en sus respectivos contextos, contribuyendo así a la formación integral de los estudiantes y la mejora de la calidad educativa.

Referencias

- Bandura, A. (1997). *Self-efficacy: The exercise of control*. W.H. Freeman and Company.
- Burgdorf, J., & Panksepp, J. (2006). The neurobiology of positive emotions. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 30(2), 173-187.
<https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2005.06.001>
- Chang, Y., Song, A., & Fang, R. (2018). Integrating ARCS Model of Motivation and PBL in Flipped Classroom: A Case Study on a Programming Language. *EURASIA Journal*



of Mathematics, Science and Technology Education.

<https://doi.org/10.29333/EJMSTE/97187>

Coyle, D., Hood, P., & Marsh, D. (2010). *Content and Language Integrated Learning*. Cambridge University Press.

Creswell, J. W., & Poth, C. N. (2018). *Qualitative inquiry and research design: Choosing among five approaches (4th ed.)*. Sage Publications.

Dichter, G. S., Damiano, C. A., & Allen, J. A. (2012). Reward circuitry dysfunction in psychiatric and neurodevelopmental disorders and genetic syndromes: *Animal models and clinical findings*. *Journal of Neurodevelopmental Disorders*, 4(1), 1-43.

<https://doi.org/10.1186/1866-1955-4-19>

Feng, S., & Tuan, H. (2005). Using ARCS Model to Promote 11th Graders' Motivation and Achievement in Learning about Acids and Bases. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 3, 463-484. [https://doi.org/10.1007/S10763-004-](https://doi.org/10.1007/S10763-004-6828-7)

[6828-7](https://doi.org/10.1007/S10763-004-6828-7)

Hallström, J., & Schönborn, K. J. (2019). Models and modelling for authentic STEM education: *Reinforcing the argument*. *International Journal of STEM Education*, 6(1), 22. <https://doi.org/10.1186/s40594-019-0178-z>

Hattie, J., & Timperley, H. (2007). The power of feedback. *Review of Educational Research*, 77(1), 81-112. <https://doi.org/10.3102/003465430298487>

Immordino-Yang, M. H., & Damasio, A. (2007). We feel, therefore we learn: The relevance of affective and social neuroscience to education. *Mind, Brain, and Education*, 1(1), 3-10. <https://doi.org/10.1111/j.1751-228X.2007.00004.x>

Immordino-Yang, M. H., & Gotlieb, R. (2017). Embodied brains, social minds, cultural meaning: Integrating neuroscientific and educational research on social-affective

- development. *American Educational Research Journal*, 54(1_suppl), 344S-367S.
<https://doi.org/10.3102/0002831216669780>
- Immordino-Yang, M. H., Darling-Hammond, L., & Krone, C. R. (2019). *The brain basis for integrated social, emotional, and academic development*. The Aspen Institute: National Commission on Social, Emotional, and Academic Development.
- Keller, J. M. (1987). Development and use of the ARCS model of instructional design. *Journal of Instructional Development*, 10(3), 2-10.
<https://doi.org/10.1007/BF02905780>
- Keller, J. M. (2009). *Motivational design for learning and performance: The ARCS model approach*. Springer.
- Keller, J. M. (2016). Motivation, learning, and technology: Applying the ARCS-V motivation model. *Participatory Educational Research*, 3(2), 1-15.
<https://doi.org/10.17275/per.16.06.3.2>
- Kelley, T. R., & Knowles, J. G. (2016). A conceptual framework for integrated STEM education. *International Journal of STEM Education*, 3(1), 1-11.
<https://doi.org/10.1186/s40594-016-0046-z>
- Kim, B. (2020). A Study of the Effects of Keller's ARCS Motivational Model on Learning Motivation and Academic Achievement in Business Major English Class. *Journal of Digital Convergence*, 18, 213-221. <https://doi.org/10.14400/JDC.2020.18.2.213>
- Köster, M., Castel, J., Gruber, T., & Kärtner, J. (2017). Visual cortical networks align with behavioral measures of self-regulation in early childhood. *NeuroImage*, 173, 413-424.
- Li, K., & Keller, J. (2018). Use of the ARCS model in education: *A literature review*. *Comput. Educ.*, 122, 54-62. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.03.019>

- Mayer, R. E. (2014). Incorporating motivation into multimedia learning. *Learning and Instruction*, 29, 171-173. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2013.04.003>
- Pérez-Cañado, M. L. (2018). CLIL and educational level: A longitudinal study on the impact of CLIL on language outcomes. *Porta Linguarum*, (29), 51-70. <http://hdl.handle.net/10481/54029>
- Ranganath, C., & Rainer, G. (2003). Neural mechanisms for detecting and remembering novel events. *Nature Reviews Neuroscience*, 4(3), 193-202. <https://doi.org/10.1038/nrn1052>
- Reynolds, K., Roberts, L., & Hauck, J. (2017). Exploring motivation: integrating the ARCS model with instruction. *Reference Services Review*, 45, 149-165. <https://doi.org/10.1108/RSR-10-2016-0057>
- Roemintoyo, R., Zeyn, C., Nurhidayanti, A., & Budiarto, M. (2022). Implementation of the ARCS Learning Model and Building Component Teaching Aids to Improve Learning Outcomes of State Vocational High School Students. *International Journal of Instructional Technology and Educational Studies*. <https://doi.org/10.21608/ihites.2021.103005.1065>
- Santos, W. L. P., & Mortimer, E. F. (2009). Abordagem de aspectos sociocientíficos em aulas de ciências: possibilidades e limitações. *Investigações em Ensino de Ciências*, 14(2), 191-218. <https://www.if.ufrgs.br/cref/ojs/index.php/ienci/article/view/355>
- Saputri, K., Santosa, S., & Indrayani, A. (2020). Effectiveness model arcs (attention, relevance, confidence, and satisfaction) in learning process to increase learning motivation. *International Journal of Educational Science and Research*, 3, 268-273. https://ijessr.com/uploads2020/ijessr_03_306.pdf



- Sekeres, M. J., Bonasia, K., St-Laurent, M., Pishdadian, S., Winocur, G., Grady, C., & Moscovitch, M. (2016). Recovering and preventing loss of detailed memory: Differential rates of forgetting for detail types in episodic memory. *Learning & Memory*, 23(2), 72-82. <https://learnmem.cshlp.org/content/23/2/72.full.pdf>
- Sousa, D. A. (2011). *How the brain learns (4th ed.)*. Corwin Press.
- Stohlmann, M., Moore, T. J., & Roehrig, G. H. (2012). Considerations for teaching integrated STEM education. *Journal of Pre-College Engineering Education Research*, 2(1), 28-34. <https://doi.org/10.5703/1288284314653>
- Thomas, M. S. C., Ansari, D., & Knowland, V. C. P. (2019). Annual Research Review: Educational neuroscience: progress and prospects. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 60(4), 477-492. <https://doi.org/10.1111/jcpp.12973>
- Tokuhamas-Espinosa, T. (2010). *Mind, brain, and education science: A comprehensive guide for to the new brain-based teaching*. W.W. Norton & Company.
- Tüysüz, M., Yıldırım, B., & Demirci, N. (2020). What is the motivation difference between university students and high school students? *International Journal of Instruction*, 13(1), 1031-1044. <https://doi.org/10.29333/iji.2020.13165a>
- Tyng, C. M., Amin, H. U., Saad, M. N., & Malik, A. S. (2017). The influences of emotion on learning and memory. *Frontiers in Psychology*, 8, 1454. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.01454>
- Voss, P., Thomas, M. E., Cisneros-Franco, J. M., & de Villers-Sidani, É. (2017). Dynamic brains and the changing rules of neuroplasticity: Implications for learning and recovery. *Frontiers in Psychology*, 8, 1657. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.01657>



Woo, J.-C. (2014). Digital Game-Based Learning Supports Student Motivation, Cognitive Success, and Performance Outcomes. *Educational Technology & Society*, 17(3), 291-307. <https://www.jstor.org/stable/jeductechsoci.17.3.291>

Zepeda, C. D., Richey, J. E., Ronevich, P., & Nokes-Malach, T. J. (2015). Direct instruction of metacognition benefits adolescent science learning, transfer, and motivation: An in vivo study. *Journal of Educational Psychology*, 107(4), 954-970. <https://doi.org/10.1037/edu0000022>

Sobre el autor Principal

Doctorando en Tecnología Educativa (Universitat de les Illes Balears), Máster en Neuropsicología y Educación (UNIR), Estudiante de Licenciatura en Ciencias de la Educación (Universidad Casa Grande), formación en ingeniería de 3er y 4to nivel. Interesado en temas de Tecnología Educativa, Enseñanza de las matemáticas, Biomimética y Neuropsicología. Desde el año 2005, ha enseñado en instituciones de Educación Superior y de secundaria.

Declaración de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses que pueda haber influido en los resultados o las interpretaciones propuestas en este estudio de diseño. Esta investigación se realizó de manera independiente, sin la participación de entidades o intereses comerciales que pudieran sesgar los hallazgos presentados.

Financiamiento



Este trabajo no ha recibido ninguna subvención específica de los organismos de financiación en los sectores públicos, comerciales o sin fines de lucro.

Declaración de responsabilidad autoral

Sandro Quintuña: Conceptualización y sistematización de ideas, formulación del objetivo del artículo y fundamentos teóricos. Redacción del manuscrito, incluyendo introducción, conclusiones y discusión. Contribución a la formulación de los fundamentos metodológicos del estudio, aportando su experiencia y conocimientos en el diseño de la investigación. Redacción de la sección de resultados, presentando los hallazgos de manera organizada y comprensible. Asimismo, se encargó de la revisión y edición final del manuscrito, asegurando la coherencia y calidad del contenido presentado.

Verónica Herrera: Recopilación y análisis de datos. Redacción de la sección de materiales y métodos, detallando los procedimientos y enfoques utilizados en la investigación. Preparación y presentación de tablas, asegurando una representación clara y precisa de los resultados obtenidos. Revisión y edición del manuscrito, contribuyendo a la mejora de la calidad y claridad del texto. Igualmente, se encargó de la gestión de la bibliografía y el formato de referencias según las normas APA, garantizando el cumplimiento de los estándares académicos.