

# Capítulo 7. Enseñanza-aprendizaje de la Inteligencia Artificial en primaria y secundaria

**Angel Orellana-Malla**

[angelorellanaec@yahoo.es](mailto:angelorellanaec@yahoo.es)

Ministerio de Educación del Ecuador

**Luis Chamba-Eras**

Universidad Nacional de Loja

[ORCID ID: 0000-0003-3069-9628](https://orcid.org/0000-0003-3069-9628)

**Daniel Irene-Robalino**

Universidad Técnica Particular de Loja

[ORCID ID: 0000-0002-7959-5697](https://orcid.org/0000-0002-7959-5697)

## Resumen

La presente revisión tiene como objetivo describir el estado de la cuestión de la enseñanza-aprendizaje de la Inteligencia Artificial (IA) en primaria y secundaria, desde dos enfoques: (1) literatura proveniente de bases de datos científicas de alto impacto y (2) literatura gris. Para aquello, se utilizó la metodología de Barbara Kitchenham, como también, la adaptación de esta propuesta por Pablo Torres-Carrión. Así, para el primer enfoque, el proceso de búsqueda consistió en revisar cuatro bases de datos científicas multidisciplinarias (ACM Digital Library, IEEE Xplore, Scopus y Web of Science), considerando artículos de revistas, capítulos de libros y textos de congresos, publicados, en inglés, entre los años 2005 al 2021. Así, fueron seleccionados 67 artículos según los criterios de inclusión, exclusión, duplicados, y evaluación de la calidad. En el segundo enfoque, se realizó la búsqueda de la literatura gris mediante el buscador académico Google Scholar, con los mismos criterios de calidad antes mencionados; aquí se obtuvieron 33 documentos. Los hallazgos demuestran que las iniciativas de la enseñanza-aprendizaje de la IA es un campo con mucho crecimiento y con tendencia al alza a partir del 2018. Además, el *machine learning* y la robótica educativa, son las dos ramas vinculadas a la IA que actualmente se usan en la enseñanza de la IA en primaria y secundaria.

**Palabras claves:** alfabetización digital, currículo escolar, educación primaria, enseñanza, tecnologías emergentes, pensamiento computacional.

## 1. Introducción

La inteligencia artificial (IA) puede definirse como un sistema informático capaz de realizar tareas inteligentes que suelen asociarse a la mente humana, como interpretar y procesar información, aprender, razonar, resolver problemas, predecir, tomar decisiones

y, a veces, también crear (Barrera Arrestegui, 2012). La UNESCO apoya a los Estados Miembros para aprovechar el potencial de la IA con miras a la Agenda 2030. El vínculo entre la IA y la educación consiste en tres ámbitos: aprender con la IA, aprender sobre la IA y prepararse para la IA (UNESCO, 2020).

Con esta breve mirada, este estudio pretende responder a la pregunta ¿Cuál es el estado de cuestión de la enseñanza-aprendizaje de la inteligencia artificial en primaria y secundaria?, cuyo fin guarda relación a lo manifestado en el Consenso de Beijing sobre la IA y la educación, donde se ratificó el compromiso de integrar las competencias relacionadas con la IA en los planes de estudios de las escuelas y en las cualificaciones de la enseñanza y formación técnica y profesional y de la educación superior (UNESCO, 2019). Por tanto, urge contar con una revisión bibliográfica vigente y valiosa con rigurosos métodos de búsqueda y análisis (Barbara Kitchenham, 2010), con el objetivo de contar con una comprensión más profunda del mundo digital, para que los jóvenes participen en la discusión de los dilemas que la IA está planteando a las nuevas sociedades e incorporarse de manera activa y flexible a trabajos que operan cada vez más con apoyos tecnológicos (Jara & Ochoa, 2020).

La información encontrada a través de 16 preguntas orientadoras de investigación permitió sistematizar los hallazgos, discutir los resultados y extraer conclusiones que se pone en consideración de la comunidad educativa.

## 2. Revisión de Literatura

El origen de la IA se remonta al matemático Alan Turing, quien planteó la interrogante: “Can machines think?” (Turing, 1950), lo que sentó las bases para esta novel y prometedor área de investigación. Posteriormente, en 1956, John McCarthy acuñó el término IA. Desde ahí en adelante, se han vivido inviernos y veranos relacionados a las diferentes soluciones a problemas prácticos (Barrera Arrestegui, 2012) en este campo. En 1971, los investigadores del Laboratorio de IA del MIT, Papert y Soloman, en su trabajo “Twenty Things To Do With A Computer” (Papert & Solomon, 1972), propusieron como hipótesis que los niños pueden empezar a desarrollar algoritmos para problemas relacionados a la IA, basados en un lenguaje de programación llamado LOGO. Posteriormente, Kahn, en sus trabajos “A Logo Natural Language System” (Solomon et al., 2020) y “Three Interactions between AI and Education” (Kahn, 1977), confirma la hipótesis planteada por Papert y Soloman, sentando las bases de lo que hoy evidenciamos: sí es posible enseñar los conceptos básicos de la IA a niños y adolescentes, abriendo con ello, un camino prometedor para la formación del talento en las profesiones del futuro. Así, el “World Economic Forum” cuantifica aproximadamente en 58% los nuevos trabajos que serán creados a partir de la IA, entre 2018 y 2022 (World Economic Forum, 2018). Por esta razón, se estima que existirán más de 200 nuevos empleos relacionados con la IA en el futuro y, con ello, debemos preparar a niños y jóvenes para que afronten esos retos laborales.

De acuerdo con lo establecido en el Consenso de Beijing sobre la IA y la Educación, se exhorta a la UNESCO a establecer una plataforma sobre “inteligencia artificial para la educación”, la cual sirva de centro de intercambio de información sobre cursos de IA de código abierto, con miras a promover el uso de la IA para el logro del cuarto objetivo de la ODS (UNESCO, 2019).

Muchos países son consumidores de tecnología, especialmente de la IA, debido a que el talento humano no se encuentra entrenado para crearla; entonces, es preciso pensar, desde edades tempranas, en ir formándolos para desarrollar tecnología y para resolver nuestros propios problemas. Por lo tanto, qué tal si lo hacemos desde la escuela y que todo eso se vea reflejado de manera lúdica y divertida. Así, podemos cambiar la dependencia de recursos naturales, por la dependencia del conocimiento, como lo hacen los grandes países industrializados e innovadores (Corona-León, 2019; Real Sociedad Matemática Española y Sociedad Científica Informática de España, 2020).

Existen contribuciones que tienen como fin describir el estado de la cuestión en temas vinculados a la enseñanza-aprendizaje de la IA en primaria y secundaria: *Juegos y herramientas de software* (Giannakos et al., 2020; Liu & Kromer, 2020; Rodríguez-García et al., 2020), *Pensamiento computacional y machine learning* (Rodríguez-García et al., 2019), *Enseñanza inteligente con IA* (Cheng, 2021), *Diseño de unidades didácticas* (Marques et al., 2020), *Iniciativa AI4K12 en el contexto educativo* (Touretzky et al., 2019), *Estrategias y marcos pedagógicos* (Temitayo Sanusi & Sunday Oyelere, 2020), *Diseño de prototipos sobre los conceptos básicos de la IA* (Woo et al., 2020). En general, estas contribuciones proporcionan una base sólida sobre la importancia de esta novel línea de investigación; sin embargo, todavía hay cuestiones que deben investigarse y, en algunos casos, siguen sin respuesta.

### 3. Metodología

La presente revisión tiene como objetivo describir el estado de la cuestión de la enseñanza-aprendizaje de la Inteligencia Artificial (IA) en primaria y secundaria, desde dos enfoques: (1) literatura proveniente de bases de datos científicas de alto impacto y (2) literatura gris. Se ha utilizado la metodología propuesta por Kitchenham (Kitchenham & Stuart, 2007; Pizard et al., 2015). Para el primer enfoque, el proceso de búsqueda consistió en revisar cuatro bases de datos científicas multidisciplinarias (*ACM Digital Library*, *IEEE Xplore*, *Scopus* y *Web of Science*), considerando artículos de revistas, capítulos de libros, y textos de congresos, publicados, en inglés, entre los años 2005 al 2021. Así, fueron seleccionados 67 artículos según los criterios de inclusión, exclusión, duplicados, y evaluación de la calidad. En el segundo enfoque, se realizó la búsqueda de la literatura gris mediante el buscador académico Google Scholar, con los mismos criterios de calidad antes mencionados; aquí se obtuvieron 33 documentos. Se usó la plataforma *Open Science Framework* (<https://bit.ly/31NrrmU>) para el proceso de trazabilidad, reproducibilidad y replicabilidad de este estudio.

Para la organización y análisis de la información, se aplicó el método propuesto por Pablo Torres-Carión (Torres-Carión, 2018), el cual consiste en una adaptación del protocolo de Barbara Kitchenham, mismo que propone dos etapas: planeación de la búsqueda bibliográfica y ejecución de la búsqueda bibliográfica, estas se explican a continuación.

### A. Planificación de la búsqueda bibliográfica

En esta etapa se definen las cuatro actividades realizadas. Estas son: pregunta general de investigación y su derivación con preguntas específicas, estrategia de búsqueda, criterios de búsqueda y la evaluación de la calidad de la literatura encontrada. A continuación, se detallan cada una de ellas.

#### 1. Especificación de la pregunta general de investigación

Para responder a la pregunta general de investigación ¿cuál es el estado de cuestión de la enseñanza-aprendizaje de la inteligencia artificial en primaria y secundaria?, se han definido 16 preguntas específicas con el objetivo de recolectar evidencia cuantitativa y cualitativa (Tabla 1) que apoyen a responder la pregunta general de investigación. Estas se basan en las lagunas del conocimiento identificadas en las contribuciones mencionadas en la introducción y se encuentran organizadas en seis criterios: académico, técnico, social, geográfico, bibliométrico e investigación.

**Tabla 1. Preguntas específicas de investigación**

ID	Tipo	Criterio	Descripción de las preguntas específicas de investigación
P1	Preguntas de Mapeo	Académico	¿Qué ramas de la IA se enseñan en primaria y secundaria?
P2		Académico	¿Qué estándares, métodos o metodologías (pedagogías o estrategias didácticas) se definen en la enseñanza-aprendizaje de la IA en primaria y secundaria?
P3		Técnico	¿Qué tecnologías de software/hardware se usan en la enseñanza-aprendizaje de la IA en primaria y secundaria?
P4	Preguntas de revisión	Social	¿Qué factores (económicos, sociales, tecnológicos, talento humano) son importantes en la enseñanza-aprendizaje de la IA en primaria y secundaria?
P5		Técnico	¿Qué lenguajes de programación o SW se usan para construir prototipos en la enseñanza-aprendizaje de la IA en primaria y secundaria?
P6		Geográfico	¿En qué países se han ejecutado iniciativas relacionadas con la enseñanza-aprendizaje de la IA en primaria y secundaria?
P7		Social	¿Qué iniciativas (comunidades, clubes, concursos, organizaciones) existen para motivar la enseñanza-aprendizaje de la IA en primaria y secundaria?
P8		Social	¿Qué cuestiones éticas se deben impulsar en la enseñanza-aprendizaje de la IA en primaria y secundaria?

ID	Tipo	Criterio	Descripción de las preguntas específicas de investigación
P9		Geográfico	¿En qué países se enseña la IA en primaria y secundaria, como materia dentro de su plan de estudio?
P10		Académico	¿Cómo aportaría la enseñanza-aprendizaje de la IA dentro del plan de estudio en primaria y secundaria?
P11		Académico	¿Se puede enseñar o aprender IA sin utilizar software/hardware?
P12		Bibliométrico	¿Qué congresos o revistas científicas son relevantes en el campo de la IA en primaria y secundaria?
P13		Bibliométrico	¿Cuáles son los investigadores que trabajan en el campo de la IA en primaria y secundaria?
P14		Social	¿Es posible realizar actividades en primaria y secundaria que permitan conocer los principios de la IA explicable?
P15		Social	¿Qué se comenta en relación con la equidad de género en la enseñanza de la IA?
P16		Investigación	¿Cómo se aplicó los métodos de investigación?

Fuente: Elaboración propia.

## 2. Estrategia de búsqueda

La búsqueda de la información se basó en la selección de palabras claves que se encontró en los tesauros de la IEEE (IEEE, 2021) y de la UNESCO (SKOS, 2021), apoyándonos en los términos del método PICOC (Tabla 2).

**Tabla 2. Método PICOC**

PICOC		
Item	Descripción	Detalle
P	POBLACIÓN	“Primary OR secondary school children”, “Teaching”
I	INTERVENCIÓN	“Artificial intelligence”
C	COMPARACIÓN	“No se aplicará”
O	RESULTADOS	“Artificial intelligence teaching OR artificial intelligence learning OR artificial intelligence in primary and secondary school children”
C	CONTEXTO	“Académico (Artificial intelligence)”

Fuente: Elaboración Propia

**Para las Bases de Datos**, se realizó la búsqueda en base de datos científicas multidisciplinares y especializadas de gran impacto mundial en la investigación. En la Tabla 3, se presentan las bases de datos científicas usadas.

**Tabla 3. Lista de bases de datos científicas**

Bases de datos científicas	URL
Scopus	<a href="https://www.scopus.com">https://www.scopus.com</a>
WoS	<a href="https://login.webofknowledge.com">https://login.webofknowledge.com</a>
IEEE Xplore	<a href="https://ieeexplore.ieee.org">https://ieeexplore.ieee.org</a>
ACM Digital Library	<a href="https://dl.acm.org">https://dl.acm.org</a>

**Fuente:** Elaboración propia

Para la literatura gris, se utilizó el buscador académico Google Scholar.

### 3. Criterios de inclusión y exclusión (aplica para los documentos de las bases de datos)

#### **Criterios de inclusión**

- (1) Publicados en revistas, capítulos de libros y congresos;
- (2) El contenido debe contener la cadena de búsqueda en su título y resumen;
- (3) Únicamente de las bases de datos: Scopus, Web of Science, IEEE Xplore y ACM Digital Library;
- (4) Se consideran únicamente en el idioma inglés.

#### **Criterios de exclusión**

- (1) Trabajos que se encuentren en el ámbito universitario;
- (2) No contienen información que aporten para poder responder a las preguntas propuestas;
- (3) Literatura gris.

### 4. Evaluación de calidad (aplica para los documentos de las bases de datos)

De acuerdo con lo sugerido por Correa dos Santos et al., (2013) y Kitchenham et al., (2010), se han empleado cinco criterios (Tabla 4), los cuales son aplicables a la mayoría de los estudios de revisión. Al evaluar los artículos, se han obtenido: 38 que se encuentran en el índice de «excelente», 13 en «bueno», 10 en «muy bueno» y 10 en «malo» (Tabla 5).

**Tabla 4. Criterios para la evaluación de calidad**

ID	Criterio de calidad	Alternativa
CC1	¿Se ha descrito la propuesta de estudio de forma clara y adecuada?	Si= 1 No=0 Par=0.5
CC2	¿Se informó con claridad de los métodos o técnicas utilizados en los estudios primarios?	Si= 1 No=0 Par=0.5
CC3	¿Existe una descripción adecuada del contexto en el que se llevó a cabo la investigación?	Si= 1 No=0 Par=0.5

ID	Criterio de calidad	Alternativa
CC4	¿Se evaluó/validó la propuesta de estudio?	Si= 1 No=0 Par=0.5
CC5	¿Se informó claramente de los resultados?	Si= 1 No=0 Par=0.5

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 5. Categorización de estudios**

Escala	Categoría	Número de documentos
0-1.0	Muy malo	-
1.5-2.0	Malo	10
2.5-3.0	Bueno	13
3,5-4.0	Muy bueno	10
4.5-5.0	Excelente	38

Fuente: Elaboración propia

## B. Ejecución de la búsqueda bibliográfica

En esta etapa se ejecutan las actividades definidas en la planificación. Primeramente, se han utilizado los operadores lógicos AND/OR [(“artificial intelligence”) AND (“elementary education” OR “primary education” OR school) AND teaching]. Posteriormente, se han generado los scripts o cadenas de búsqueda finales al 15/01/2021. Los scripts de búsqueda tienen su particularidad, debido a que su sintaxis difiere de acuerdo con cada base de datos (cuatro bases de datos). Para la literatura gris, se han realizado las consultas básicas de prueba en Google Scholar, utilizando los operadores lógicos AND/OR y las palabras claves. Luego de cinco iteraciones, se identificó 47 documentos.

**Ejecución de scripts:** la Tabla 6, muestra los resultados de este proceso.

**Tabla 6. Scripts de búsqueda**

RSL		RN	
Base de Datos	Número de documentos encontrados	Buscador académico	Número de documentos encontrados
Scopus	96	Google Scholar	47
Web of Science	84	(con cinco iteraciones)	
IEEE Xplore	349		
ACM Digital Library	81		
Total	610	Total	47

Fuente: Elaboración propia

La evaluación y selección de documentos se ejecutó en dos momentos:

**Momento 1:** Para las bases de datos se realizó tres análisis, cada uno con criterios de selección: (1) Incluido, (2) Dudoso, (3) Excluido. **Análisis 1:** recuperados 610 documentos, aplicando los criterios de inclusión, exclusión y duplicados; obteniendo 84 artículos, con los criterios: incluido y dudoso. **Análisis 2:** descargado los artículos candidatos, se analizó: la introducción, metodología y conclusiones; obteniendo 67 artículos, considerando los criterios: incluido y dudoso. **Análisis 3:** lectura crítica de los 67 artículos, para obtener información relevante; además, se ha aplicado la evaluación de calidad de acuerdo con cinco criterios obteniendo los artículos candidatos más relevantes que permitan responder las preguntas específicas de investigación.

**Momento 2:** Para la literatura gris se usó dos análisis, **Análisis 1:** Lectura del título y resumen de los 47 documentos. **Análisis 2:** lectura crítica completa de los mismos, quedando un total de 33. Finalmente, **la muestra analizada** corresponde a 67 documentos de las Bases de datos, y 33 documentos de la literatura gris.

#### 4. Resultados y Discusión

Se organizó esta sección de acuerdo con las 16 preguntas específicas de estudio que se relacionan con la pregunta general de investigación de acuerdo con la metodología descrita.

**Pregunta 1: ¿Qué ramas de la IA se enseñan en primaria y secundaria?** Existe evidencia en 45 artículos (39,54%) que hacen referencia a que el área de la IA enseñado en primaria y secundaria es *machine learning*, seguido de la visión artificial y la robótica, con menor incidencia. Esto concuerda con la literatura gris, donde la mayor área que se enseña en IA es *machine learning* (20,51%).

Las competencias pedagógico-digitales que hoy en día deben constar en el perfil de los docentes deben incluir habilidades necesarias para trabajar en el ámbito de la IA, por ejemplo, el *machine learning*. Según (Caraballo, 2020), esta pueda contribuir a personalizar propuestas educativas para que cada estudiante oriente su proceso educativo en función de sus intereses, atributos y talentos.

**Pregunta 2: ¿Qué estándares, métodos o metodologías (pedagogías o estrategias didácticas) se definen en la enseñanza-aprendizaje de la IA en primaria y secundaria?** Existe evidencia en 41 artículos de que se destacan estándares, métodos o metodologías que han sido usadas en la enseñanza-aprendizaje de la IA en primaria y secundaria; entre ellas: "5 Big Ideas in AI" de AI4K12, marco de trabajo para la enseñanza de la informática K-12 centrada en los humanos; STEM, secuencias didácticas de los laboratorios del MIT y Stanford; y pensamiento computacional. En la literatura gris resaltan: "5 Big Ideas in AI" de AI4K12, marco de trabajo de pensamiento computacional; y las metodologías activas, estándares vinculados a las ciencias de la computación, democratización y alfabetización, formación de profesorado y alumnado en ciencias computacionales.



Evidentemente las metodologías más utilizadas en la enseñanza aprendizaje de la IA van en la dirección de los métodos activos, el pensamiento computacional y actualmente “5 Big Ideas in AI” (Brummelen et al, 2020).

**Pregunta 3: ¿Qué tecnologías de software/hardware se usan en la enseñanza-aprendizaje de la IA en primaria y secundaria?** Se evidencia 47 artículos que destacan las tecnologías de HW o SW que se han usado mayormente en la enseñanza-aprendizaje de la IA en primaria y secundaria. En el análisis de la literatura gris, las tecnologías HW o SW que más prevalecen en este ámbito son: Google teachable machine; Mit app inventor; cognimates; LearningML; Potbots Platforms.

En esta línea, se enfatiza a proyectos de Stephen Wolfram (Wolfram, 2017), Google (Google, 2018), Machine Learning for Kids (Lane, 2018) y eCraft2Learn (ECraft2Learn, 2018), como desarrollos tecnológicos importantes que han dado impulso para crear aplicaciones y robots inteligentes basados en el ML que incluyen clasificación, agrupación, reconocimiento de texto, imágenes, extracción de características entre otras.

**Pregunta 4: ¿Qué factores (económicos, sociales, tecnológicos, talento humano) son importantes en la enseñanza-aprendizaje de la IA en primaria y secundaria?** Se evidencia 20 artículos que describen los factores que deben considerarse en la enseñanza aprendizaje de la IA en primaria y secundaria; entre ellos, se valoran: (1) talento humano, (2) emocionales, (3) tecnológica, (4) económicos: inversión pública y privada, nuevos trabajos del futuro, alivio de la pobreza; (5) sociales. En la literatura gris se evidencia: creciente demanda del mercado de profesionales de la IA; herramienta para el cambio en la sociedad; minimizar el miedo en la sociedad en uso de la IA; prácticas a más de ventajas pedagógicas tiene ventajas sociales.

Es importante mencionar algunas brechas que van abriéndose paso; entre ellas, desigualdades de acceso en zonas urbanas y rurales, exclusión social y económica, atención limitada a grupos vulnerables, equidad de género.

**Pregunta 5: ¿Qué lenguajes de programación o SW se usan para construir prototipos en la enseñanza aprendizaje de la IA en primaria y secundaria?** En 30 artículos se evidencia a los lenguajes de programación o software más populares y emergentes usados para construir prototipos en la enseñanza-aprendizaje de la IA en primaria y secundaria. Entre ellos, sobresalen: (1) Lenguajes de programación: Scratch, Python, Snap!, HTML; (2) Software: Popbots, “RPI.GPIO Python library”, Keras/TensorFlow, GeoGebra, Weka. En la literatura gris, se encuentra que los lenguajes que más prevalece en este ámbito son: Snap!, Python, Wolfram Language, Cognimates, ScratchJr, HTML; Javascript.

Sin duda, en la actualidad Scratch y Python son uno de los lenguajes de programación más populares al igual que en su momento fue “Logo” inventado por Papert (Papert & Solomon, 1972). Scratch es un sencillo lenguaje de programación que puede manipular audios, gráficos y secuencias, mediante bloques de construcción, permitiendo a los niños aprender código.

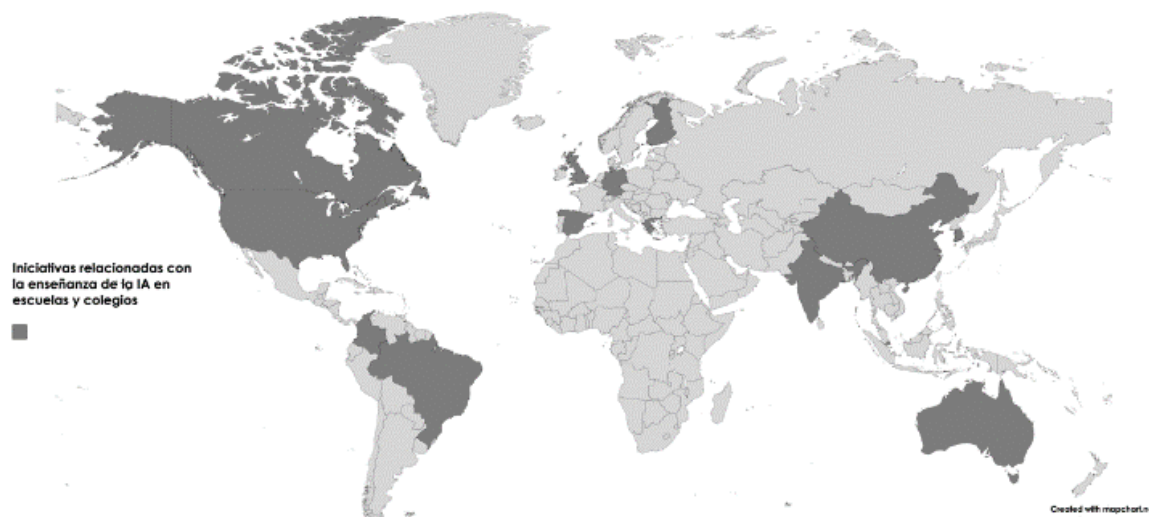
**Pregunta 6: ¿En qué países se han ejecutado iniciativas relacionadas con la enseñanza-aprendizaje de la IA en primaria y secundaria?** Se evidencia 35 artículos que hacen referencia a los países con más iniciativas relacionadas con el aprendizaje de la IA en primaria y secundaria: China, EE. UU., India, España, Reino Unido, Finlandia, Australia, Israel, Argentina, entre otros (Figura 1). En la revisión de la literatura gris, se encuentra que los países con más iniciativas, relacionadas con el aprendizaje de la IA en primaria y secundaria, son: China, Estados Unidos, India, España, Reino Unido, Finlandia, Australia, Brasil, Canadá, entre otros (Figura 2).

**Figura 1. Países con iniciativas en IA (bases de datos)**



Fuente: Elaboración propia

**Figura 2. Países con iniciativas en IA (literatura gris)**



Fuente: Elaboración propia

En el análisis geográfico de países con iniciativas relacionadas con el aprendizaje de la IA en primaria y secundaria, podemos determinar con claridad que EE. UU. y China son países líderes en el desarrollo de iniciativas de la IA, y que estas iniciativas continúan creciendo

rápidamente en Iberoamérica. Esto corrobora la importancia que está tomando la IA en muchos países y el terreno que va ganando en su ámbito de influencia en la generación de los constructores, de los *millennials*, denominación de la nueva generación de niños y jóvenes, aprendices en la era digital.

**Pregunta 7: ¿Qué iniciativas (comunidades, clubes, concursos, organizaciones) existen para motivar la enseñanza-aprendizaje de la IA en primaria y secundaria?** Se evidencia 35 artículos que destacan varias organizaciones impulsadoras de iniciativas para la enseñanza-aprendizaje de la IA en primaria y secundaria. Entre ellas, se visibilizan a: “Association for the Advancement of Artificial Intelligence (AAAI)”, “MIT Media Lab”, “Computer Science Teachers Association (CSTA)”, UNESCO, “Stanford Artificial Intelligence Laboratory”, entre otros. En la literatura gris, se evidencia en este ámbito a las organizaciones: INTEF, Workshop (talleres presenciales o virtuales), Apps for Good, The Hour of Code, Code.org, MIT Lab IA, CSTA.

El presente estudio consolida a AI4K12 como la primera iniciativa que tiene como objetivo enseñar desde tempranas edades (12 años) la IA, recolectando repositorios, páginas web, herramientas de programación, entre otros elementos relacionados, con la IA. Es evidente el crecimiento de talleres que se realizan en este campo (Padilla Sepulveda, 2020), esta actividad aparece en el análisis de organizaciones como la primera forma de evangelizar y difundir sobre IA.

**Pregunta 8: ¿Qué cuestiones éticas se deben impulsar en la enseñanza-aprendizaje de la IA en primaria y secundaria?** Se destacan cuestiones éticas que se deben considerar en la enseñanza-aprendizaje de la IA en primaria y secundaria. Entre ellas, se debe considerar: aumento del desempleo; el continuo sesgo de la IA; repercusiones morales, éticas y filosóficas de la IA en la sociedad; entre otras. En la literatura gris se destaca en este ámbito los siguientes elementos: impacto social del ML, proceso de diseño (antes, durante y después), BIAS (los algoritmos de la IA que no son “neutrales” ni “objetivos”, es decir hay sesgos), puntos fuertes y débiles (si bien es cierto, existen más ventajas, las desventajas son fundamentales para comprender la ética de la IA).

A pesar de la naciente literatura sobre la ética y la IA que se ha identificado, lo que más se destaca es la necesidad de emprender, más investigación y desarrollo sobre las cuestiones ética. Tal como lo afirma Padilla Sepulveda (2020), la IA está presente constantemente en nuestros quehaceres diarios, pero no hay un debido desarrollo de la ética sobre su implementación. En la Conferencia General de la UNESCO (2019a) se reconoce la IA tiene potencial para transformar el futuro de la humanidad; sin embargo, existe una conciencia generalizada de los riesgos y desafíos que conlleva, especialmente, en la agravación de las desigualdades y brechas existentes, así como a las implicaciones para los derechos humanos; por lo que es necesario que exista normativa sobre la ética de la IA.

**Pregunta 9: ¿En qué países se enseña la IA en primaria y secundaria, como materia dentro de su plan de estudio?** Se refleja en 21 artículos países que incorporan en su plan curricular la enseñanza-aprendizaje de la IA en primaria y secundaria, siendo los países líderes en estas iniciativas China, Estados Unidos, seguidos por Canadá, India, España, Reino Unido, Austria, Japón, México, Finlandia, Australia, Argentina, entre otros. De acuerdo con la literatura gris, los países líderes en estas iniciativas son: China, India, España, Estados Unidos, Canadá, Brasil, entre otros.

Podemos determinar con claridad que Estados Unidos es uno de los países líderes que cuenta en su currículo el aprendizaje de la IA, seguido de Asia, Europa, y muy poco en Latinoamérica.

**Pregunta 10: ¿Cómo aportaría la enseñanza-aprendizaje de la IA dentro del plan de estudio en primaria y secundaria?** Se destacan aportes direccionados a: preparar a los estudiantes para profesiones del futuro; rol activo de directivos, expertos en IA, profesores y estudiantes para los nuevos y complejos retos; orientaciones encaminadas a despertar vocaciones entre los jóvenes para hacer frente al creciente número de puestos STEM. En lo referente a la literatura gris, estas contribuciones están direccionadas a: formación de profesores en competencias informáticas, establecer marcos de trabajo de la IA en la educación que sean libres y abiertos; rediseñar los planes de estudio de matemáticas se convierte en una necesidad, entre otros.

El mayor aporte que se evidencia es la necesidad de alfabetización y aprendizaje en competencias de la IA. Esto se corrobora con lo analizado en la “Conferencia Internacional sobre Inteligencia Artificial y Educación” (UNESCO, 2019c) a través de la integración del desarrollo de habilidades de IA en currículos escolares e institucionales. Sin embargo, se devela que, a pesar de la conciencia del potencial de la IA, los planes estratégicos para promover la IA en la educación no se han reflejado en los planes nacionales de TIC o educación. Esto puede deberse al hecho de que los países se encuentran en diferentes etapas de desarrollo e implementación de dichos planes.

**Pregunta 11: ¿Se puede enseñar o aprender IA sin utilizar software/hardware?** En siete artículos se muestra cómo el aprendizaje de la IA en primaria y secundaria se puede realizar por medio de actividades desconectadas. Entre ellas: enseñar los fundamentos de la IA por medio de “CS Unplugged” y “Exploring CS”. En la literatura gris, se señala que: hay programas como AlinSchools; CSUnplugged.org.

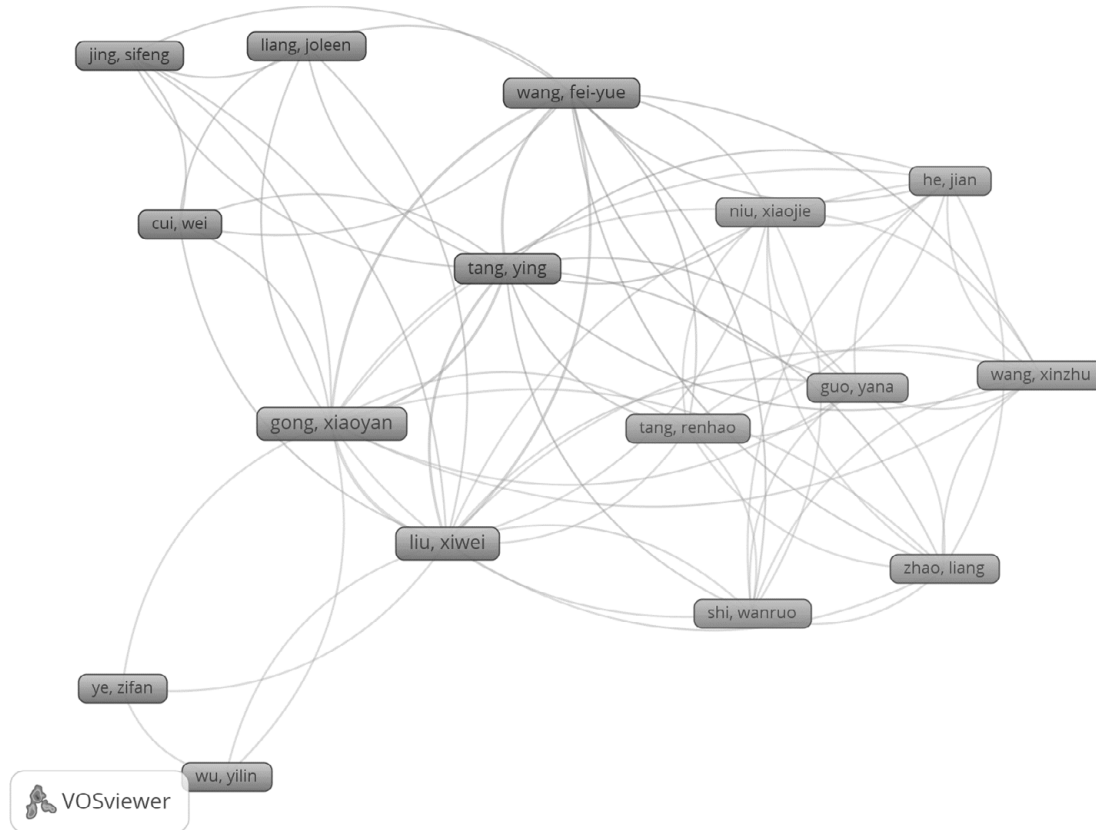
De a poco, se evidencia la proliferación de iniciativas públicas y privadas orientadas a introducir la IA en las escuelas de manera lúdica y pedagógica. Para abordar un ejemplo de ello podemos revisar (Lindner et al., 2019) en donde a través del desarrollo de una secuencia didáctica de actividades desconectadas sobre IA (AI Unplugged) se presentan las ideas y conceptos de la informática sin usar computadoras, a la vez se concluye que estas actividades incitan a los estudiantes a reflexionar sobre sus propias formas de pensar y actuar, y a asociarlas con los conceptos naturales de la computación

**Pregunta 12: ¿Qué congresos o revistas científicas son relevantes en el campo de la IA en primaria y secundaria?** De los 67 artículos revisados, el 78% corresponden a artículos de congresos científicos, 21% a revistas y el 1% a capítulo de libro, siendo los congresos científicos el medio en dónde más se han publicado trabajos de investigación en el contexto de la enseñanza-aprendizaje de la IA en primaria y secundaria. Entre las revistas de alto impacto, Q1 y Q2 de acuerdo con el índice bibliométrico SCImago Journal Rank (SJR), están: (Q1) “The International Journal of Engineering Education” y “International Journal of Child-Computer Interaction”; (Q2) “Sustainability”, “International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology”, “International Journal of Computational Intelligence Systems”, “Informatics in Education”, “AI Magazine”. En caso de la literatura gris, las divulgaciones y difusiones se dan en: 34% en Conference Proceeding; 29% están difundidos en Journal; 23% aún está en Work Paper; 11% son Thesis; y 3% son reportes. En cuanto al tipo de difusión, los que prevalecen son: arXiv; “Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence; Proceedings of the Constructionism Conference”; “AAAI-19 Workshop”; “International Workshop on Education in Artificial Intelligence K-12 (EDUAI)”.

Es evidente que gran parte de las contribuciones realizadas por los investigadores en esta área emergente, están en revistas científicas, actas de conferencias y preprints, seguido de pocas publicaciones en reportes y tesis. Esto demuestra que esta tecnología está en pleno crecimiento desde el 2018 con respecto al 2008.

**Pregunta 13: ¿Cuáles son los investigadores que trabajan en el campo de la IA en primaria y secundaria?** Sobre la base de los 67 artículos científicos analizados, se identifica a los principales investigadores y a sus redes que han publicado investigaciones en el campo de la IA en primaria y secundaria: Gong Xiaoyan, Liu Xiwei, Tang Ying, Niu Xiaojie, Wang Fei-Yue, Guo, Yana, Tang Renhao, entre otros (Figura 3). En la literatura gris, los principales autores que se identifican en la investigación de este campo son: Van Brummelen, Jesica; Williams, Randi; Breazeal Cynthia; Won Park, Hae; entre otros (Figura 4).

**Figura 3. Red de coautoría de los investigadores en el campo de la IA en K-12 (RSL)**



Fuente: Elaboración propia

**Figura 4. Investigadores en el campo de la IA en K-12 (RN)**

Create Map

Verify selected authors

Selected	Author	Documents	Total link strength
<input checked="" type="checkbox"/>	van brummelen, jessica	7	11
<input checked="" type="checkbox"/>	williams, randi	4	11
<input checked="" type="checkbox"/>	breazeal, cynthia	3	11
<input checked="" type="checkbox"/>	won park, hae	2	7
<input checked="" type="checkbox"/>	zhou, xiaofei	2	6
<input checked="" type="checkbox"/>	kahn, ken	2	5
<input checked="" type="checkbox"/>	lin, phoebe	2	5
<input checked="" type="checkbox"/>	winters, niall	2	5
<input checked="" type="checkbox"/>	chittora, siddharth	2	1
<input checked="" type="checkbox"/>	azhar, m. q.	1	7
<input checked="" type="checkbox"/>	chopra, samir	1	7
<input checked="" type="checkbox"/>	jansen, richard	1	7
<input checked="" type="checkbox"/>	lowes, susan	1	7
<input checked="" type="checkbox"/>	parsons, simon	1	7
<input checked="" type="checkbox"/>	rudowsky, ira	1	7
<input checked="" type="checkbox"/>	sklar, elizabeth	1	7
<input checked="" type="checkbox"/>	tejada, sheila	1	7
<input checked="" type="checkbox"/>	ahn, joong min	1	6
<input checked="" type="checkbox"/>	bae, young kwon	1	6
<input checked="" type="checkbox"/>	jang, jun hyeok	1	6
<input checked="" type="checkbox"/>	kim, woo yeol	1	6
<input checked="" type="checkbox"/>	park, dae rvoon	1	6

< Back   Next >   Finish   Cancel

Fuente: Elaboración propia

Estos investigadores son los que más han publicado sobre la IA hasta el punto de determinar que Estados Unidos mantiene el liderazgo en cuanto a la relevancia de estos temas sobre China. En esta misma línea, el “Artificial Intelligence Index Report 2019” coincide con los resultados de los avances en materia de investigación sobre IA (Perrault et al., 2019).

**Pregunta 14: ¿Es posible realizar actividades en primaria y secundaria que permitan conocer los principios de la IA explicable?** Se evidencia en 7 artículos cómo la enseñanza-aprendizaje de la IA en primaria y secundaria se puede aplicar a los principios de la IA; Entre ellas, se destacan: al entender y utilizar un dispositivo inteligente, los niños en edad preescolar pueden utilizar la IA para explorar y crear tecnología. En el caso de los robots sociales, se pueden entender los algoritmos que se ejecutan en su «mente», por parte de los niños; entre otros. En la literatura gris, se evidencia preponderantemente las siguientes actividades: talleres dirigidos a estudiantes con descripciones orientadas a cómo pueden aprender las máquinas.

Surge la necesidad de transformar las aplicaciones de la IA en términos de transparencia, trazabilidad y auditabilidad, dando lugar a la IA Explicable (XAI), como se concluye Vaquero de Miguel (2020); posicionándose además, como el punto de partida para poder garantizar un correcto desarrollo de la IA y el ML, el cual permita aprovechar sus bondades, manteniendo la preocupación por sus elementos negativos que vayan apareciendo, convirtiéndose así en uno de los objetivos prioritarios de las agendas de organismos internacionales.

**Pregunta 15: ¿Qué se comenta en relación con la equidad de género en la enseñanza de la IA?** Se exhibe en 10 artículos orientados a la equidad de género y la enseñanza-aprendizaje de la IA en primaria y secundaria, que: hay tendencia mayoritaria en los niños por el gusto en la IA en comparación con las niñas. En la revisión de la literatura gris, se identifica que aún hay una marcada brecha de género en STEM a favor de los niños (por ejemplo, en Alemania, solo el 16% de los profesionales con conocimientos de IA son mujeres); también las investigaciones coinciden que las niñas tienden a subestimar sus habilidades técnicas.

La falta de investigación en este campo, remarca la necesidad de lo que en el Horizont Report en (Jara & Ochoa, 2020) cita: “es esencial que se diseñen políticas destinadas a prevenir que la incorporación de IA aumente las brechas de género, raciales ...”.

**Pregunta 16: ¿Cómo se aplicó los métodos de investigación?** El análisis de 36 artículos, ha identificado una serie de métodos investigativos que se aplicaron en los trabajos relacionados con la enseñanza-aprendizaje de la IA en primaria y secundaria; en los mismos se destacan a: (1) participantes: estudiantes, profesores de primaria y secundaria; (2) tipo de estudio: cuantitativos, cualitativos y mixtos; (3) métodos de investigación: encuestas (pre y post), experimentos, programas piloto, entre otros; (4) técnicas o instrumentos: cuestionarios (abiertos, cerrados, en línea), entrevistas, entre otros; (5) métodos técnicos: tipos de aprendizaje supervisado, como clasificación y

regresión; (6) métodos didácticos/pedagógicos: metadiseño, pensamiento inverso, codiseño. En la literatura gris, los métodos de investigación (técnicas/instrumentos) que han prevalecido son: cuestionario previo; cuestionario posterior; encuestas antes y después de taller; estudio piloto; evaluaciones previas; entre otros.

La naturaleza del campo de la educación enmarcado dentro de las ciencias sociales o en las Ciencias de la Computación, así como los instrumentos de investigación, corroboran que los resultados obtenidos, determinan una mayor utilización de los cuestionarios y las encuestas pretest como métodos o técnicas dentro de las investigaciones de la IA (asomando así la confluencia con las ciencias exactas y humanistas); quizá, como plantea Castillo Díaz (2009), brindan la posibilidad del desarrollo de instrumentos de medición fiables, válidos, sensibles y carentes de sesgo y, en consecuencia, asegurar un nivel de calidad en las mediciones sociales.

## 5. Conclusiones

El principal aporte de esta revisión es que se ha logrado identificar el estado de la cuestión de la enseñanza-aprendizaje de la IA en primaria y secundaria, organizada por seis criterios: académico, técnico, social, geográfico, bibliométrico e investigación. Esto plantea nuevos retos para ampliar el aprendizaje de la IA en edades tempranas con el fin de ayudar a los estudiantes a comprender su potencial, entender sus límites y, por lo tanto, capacitarlos para convertirlos en creadores de soluciones inteligentes. Esta afirmación es ampliada por Randi Williams (2019), quien destaca que “los niños ya no sólo están creciendo con computadoras y videojuegos, están creciendo en la era de la IA”.

La necesidad de la cotidianidad de las prácticas educativas innovadoras que aceleren la consecución de una educación de calidad, como lo describe el cuarto objetivo de la ODS, y en donde la IA vaya ganando espacio, es uno de los desafíos mayores que enfrentan los profesores hoy en día. Los programas de formación orientados al desarrollo de las capacidades de los instructores (UNESCO, 2020), están destinados a enfrentar inevitablemente al fenómeno de la Educación 4.0; es decir, que la siguiente generación de profesores necesita desde ya formarse en estos ámbitos, articulando su proceso de enseñanza-aprendizaje a la creación, adaptación y seguimiento de actividades con ayuda de máquinas inteligentes, mediante la aplicación de la IA y bajo la tutela de docentes capacitados en Tecnología Educativa y conscientes de la necesidad imperiosa de la formación del talento humano para las profesiones del futuro (Sánchez Guzmán, 2019).

Es imperativo que la nueva ciudadanía digital necesita estar al tanto de temas relacionados con las ciencias de la computación, pensamiento computacional y programación, para que pueda incorporarse de manera coherente y flexible a sus contextos laborales, académicos y sociales, que dependen cada vez más de la tecnología.



Uno de indicadores de mayor preponderancia a la hora de evaluar el desarrollo del aprendizaje de la IA en primaria y secundaria es, precisamente, su producción científica. Es evidente que gran parte de las contribuciones realizadas por los investigadores en esta área están en revistas científicas, actas de conferencias, trabajos de paper, reportes y tesis. Esto demuestra que esta tecnología está en pleno crecimiento, sobre todo desde el 2018.

Diversos estudios han destacado, fundamentalmente, que para los niveles de primaria y secundaria se puede desarrollar un plan de estudios “desconectado y conectado”, sistematizado por edades para ayudar a los niños a aprender a desarrollar modelos mentales útiles para explorar la IA. Estos principios tienen fuerte sustento en la teoría de LOGO (Solomon et al., 2020).

Finalmente, los hallazgos demuestran que las iniciativas de la enseñanza-aprendizaje de la IA es un campo con mucho crecimiento y con tendencia al alza a partir del 2018; además, el *machine learning* y la robótica educativa son las dos ramas que actualmente están vinculadas a la IA, las cuales se están enseñando mayormente en primaria y secundaria. A futuro, se pretende desarrollar un marco de trabajo que oriente a los profesores, investigadores y directivos en la toma de decisiones con una visión innovadora y de cambio, a la hora de integrar el aprendizaje de la IA en la educación en primaria y secundaria.

### **Apoyos**

Los autores agradecen a la Corporación Ecuatoriana para el Desarrollo de la Investigación y Academia – CEDIA por el apoyo financiero brindado al presente trabajo de investigación, desarrollo e innovación a través de su programa CEPRA, especialmente, para el proyecto “Democratización del aprendizaje de la inteligencia artificial desde edades tempranas en Ecuador” (Referencia: CEPRA XV-2021-014, Inteligencia Artificial). Por otro lado, reconocer el apoyo de las instituciones: Universidad Nacional de Loja, Universidad Estatal de Bolívar, Universidad Técnica Particular de Loja, Universidad Internacional del Ecuador, Unidad Educativa Santa Mariana de Jesús-Loja, Instituto Superior Tecnológico Daniel Álvarez Burneo y al Ministerio de Educación Zona 7 de Ecuador.

## **6. Referencias Bibliográficas**

- Barrera Arrestegui, L. (2012). Fundamentos Históricos y Filosóficos de la Inteligencia Artificial. *UCV-HACER. Revista de Investigación y Cultura*, 1(1), pp. 87–92. Intention to Learn Artificial Intelligence. *Mathematics*, 8(11), 2089 <https://doi.org/10.3390/math8112089>
- Brummelen et al.. (2020). Teaching tech to talk: K-12 conversational artificial intelligence literacy curriculum and development tools 2089

- Castillo Díaz, M. (2009). *Utilidad de los Métodos de Pretest para la Evaluación de los Cuestionarios en la Investigación mediante Encuesta*. Universidad de Granada.
- Caraballo, E. D. (2020). Educación y Machine Learning: La puerta de entrada a un nuevo paradigma. *EDUCA*. <https://www.educa.org.do/2020/02/20/nota-de-trabajo-35-educacion-y-machine-learning-la-puerta-de-entrada-a-un-nuevo-paradigma/>
- Cheng, Z. (2021). Applicational Status Analysis of Artificial Intelligence Technology in Middle School Education and Teaching. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 1283, pp. 171–178. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-62746-1\\_25](https://doi.org/10.1007/978-3-030-62746-1_25)
- Corona-León, G. A. (2019). The Future Computed. La inteligencia artificial y su papel en la sociedad y Pulsa actualizar. La aventura de redescubrir el alma de Microsoft y concebir un futuro mejor para todos. *Ámbitos. Revista Internacional de Comunicación*, 46, pp. 268–270. <https://doi.org/10.12795/ambitos.2019.i46.16>
- Correa dos Santos, A. C., Delamaro, M. E., & Nunes, F. L. S. (2013). The Relationship between Requirements Engineering and Virtual Reality Systems: A Systematic Literature Review. *2013 XV Symposium on Virtual and Augmented Reality*, pp. 53–62. <https://doi.org/10.1109/SVR.2013.52>
- ECraft2Learn. (2018). Enabling children and beginning programmers to build AI programs. <https://ecraft2learn.github.io/ai/>
- Giannakos, M., Voulgari, I., Papavlasopoulou, S., Papamitsiou, Z., & Yannakakis, G. (2020). Games for artificial intelligence and machine learning education: Review and perspectives. In *Lecture Notes in Educational Technology* (Issue October, pp. 117–133). [https://doi.org/10.1007/978-981-15-6747-6\\_7](https://doi.org/10.1007/978-981-15-6747-6_7)
- Google. (2018). Do-it-yourself artificial intelligence. <https://aiyprojects.withgoogle.com/>
- Gong, X., Tang, Y., Liu, X., Jing, S., Cui, W., Liang, J., & Wang, F.-Y. (2020). K-9 Artificial Intelligence Education in Qingdao: Issues, Challenges and Suggestions. *2020 IEEE International Conference on Networking, Sensing and Control (ICNSC)*, pp. 1–6. <https://doi.org/10.1109/ICNSC48988.2020.9238087>
- Gong, X., Wu, Y., Ye, Z., & Liu, X. (2018). Artificial Intelligence Course Design: iSTREAM-based Visual Cognitive Smart Vehicles. *2018 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV), 2018-June(13)*, pp. 1731–1735. <https://doi.org/10.1109/IVS.2018.8500457>
- Gong, X., Zhao, L., Tang, R., Guo, Y., Liu, X., He, J., Wang, F.-Y., Tang, Y., Shi, W., Niu, X., & Wang, X. (2019). AI Educational System for Primary and Secondary Schools. *2019 ASEE Annual Conference & Exposition*, pp. 1–14.
- Heinze, C., Haase, J., & Higgins, H. (2010). An action research report from a multi-year approach to teaching Artificial Intelligence at the K-6 level. *Proceedings of the National Conference on Artificial Intelligence*, 3, pp. 1890–1895.

- IEEE. (2021). Access the IEEE Thesaurus and Taxonomy. <https://www.ieee.org/publications/services/thesaurus-access-page.html>
- Jara, I., & Ochoa, J. M. (2020). *Usos y efectos de la inteligencia artificial en educación*.
- Kahn, K. M. (1975). *A Logo natural language system*.
- Kahn, Ken, Megasari, R., Piantari, E., & Junaeti, E. (2018). AI programming by children using snap! Block programming in a developing country. *CEUR Workshop Proceedings*, 2193, pp. 1–14.
- Kahn, Kenneth. (1977). Three Interactions between AI and Education. *Machine Intelligence*, 8, pp. 422–429.
- Kitchenham, B., Pretorius, R., Budgen, D., Brereton, O. P., Turner, M., Niazi, M., & Linkman, S. (2010). Systematic literature reviews in software engineering-A tertiary study. *Information and Software Technology*, 52(8), pp. 792–805. <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2010.03.006>
- Kitchenham, B., & Stuart, C. (2007). *Guidelines for performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering*. <https://doi.org/10.1145/1134285.1134500>
- Lane, D. (2018). Explaining Artificial Intelligence. *Hello World*, 4, pp. 44–45.
- Lindner, A., Seegerer, S., & Romeike, R. (2019). Unplugged Activities in the Context of AI. *International Conference on Informatics in Schools: Situation, Evolution, and Perspectives*, ISSEP 2019, 11913 LNCS, 123–135. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-33759-9\\_10](https://doi.org/10.1007/978-3-030-33759-9_10)
- Liu, F., & Kromer, P. (n.d.). *Early Age Education on Artificial Intelligence: Methods and Tools*.
- Liu, F., & Kromer, P. (2020). Early Age Education on Artificial Intelligence: Methods and Tools. *Proceedings of the Fourth International Scientific Conference "Intelligent Information Technologies for Industry" (ITI'19)*, pp. 696–706. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-50097-9\\_71](https://doi.org/10.1007/978-3-030-50097-9_71)
- Marques, L. S., Gresse Von Wangenheim, C., & Hauck, J. C. R. (2020). Teaching machine learning in school: A systematic mapping of the state of the art. *Informatics in Education*, 19(2), pp. 283–321. <https://doi.org/10.15388/INFEDU.2020.14>
- Padilla Sepulveda, C. D. (2020). Experiencias Interactivas para Divulgación de Conceptos y Aplicaciones de Inteligencia Artificial. <https://doi.org/10.1088/1751-8113/44/8/085201>.
- Papert, S., & Solomon, C. (1972). Twenty Things to Do with a Computer. *Educational Technology*, 12(4), pp. 9–18

- Perrault, R., Shoham, Y., Brynjolfsson, E., Clark, J., Etchemendy, J., Grosz, B., Lyons, T., Manyika, J., Mishra, S., & Niebles, J. C. (2019). The AI Index 2019 Annual Report. In Human-Centered AI Institute.
- Pizard, S., Acerenza, F., Casella, V., Moreno, S., & Vallespir, D. (2015). *Conceptos de Ingeniería de Software Basado en Evidencias*.
- Real Sociedad Matemática Española y Sociedad Científica Informática de España. (2020). *Hacia una nueva educación en matemáticas e informática en la Educación Secundaria*.
- Rodríguez-García, J. D., Moreno-León, J., Román-González, M., & Robles, G. (2020a). LearningML: A Tool to Foster Computational Thinking Skills Through Practical Artificial Intelligence Projects. *Revista de Educación a Distancia (RED)*, 20(63), pp. 1–38. <https://doi.org/10.6018/red.410121>
- Rodríguez-García, J. D., Moreno-León, J., Román-González, M., & Robles, G. (2019). Developing Computational Thinking at School with Machine Learning: An exploration. *2019 International Symposium on Computers in Education (SIIE)*, pp. 1–6. <https://doi.org/10.1109/SIIE48397.2019.8970124>
- Rodríguez-García, J. D., Moreno-León, J., Román-González, M., & Robles, G. (2020b). Introducing Artificial Intelligence Fundamentals with LearningML. *Eighth International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality*, pp. 18–20. <https://doi.org/10.1145/3434780.3436705>
- Sánchez Guzmán, D. (2019). Industria y educación 4.0 en México: un estudio exploratorio. *Innovación Educativa*, 19(81), pp. 39–63.
- SKOS. (2021). Teaching and training. UNESCO Thesaurus. <https://skos.um.es/unescothes/COL160/html>
- Solomon, C., Harvey, B., Kahn, K., Lieberman, H., Miller, M. L., Minsky, M., Papert, A., & Silverman, B. (2020). History of Logo. *Proceedings of the ACM on Programming Languages*, 4(HOPL). <https://doi.org/10.1145/3386329>
- Torres-Carrion, P. V. (2018). Methodology for systematic literature review applied to engineering and education. Retrieved from <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8363388>
- Touretzky, D., Gardner-McCune, C., Breazeal, C., Martin, F., & Seehorn, D. (2019). A Year in K-12 AI Education. *AI Magazine*, 40(4), pp. 88–90. <https://doi.org/10.1609/aimag.v40i4.5289>

- Touretzky, D., Gardner-McCune, C., Martin, F., & Seehorn, D. (2019). Envisioning ai for k-12: What should every child know about ai? *33rd AAAI Conference on Artificial Intelligence, AAAI 2019, 31st Innovative Applications of Artificial Intelligence Conference, IAAI 2019 and the 9th AAAI Symposium on Educational Advances in Artificial Intelligence, EAAI 2019*, pp. 9795–9799. <https://doi.org/10.1609/aaai.v33i01.33019795>
- Touretzky, D., Martin, F., Seehorn, D., Breazeal, C., & Posner, T. (2019a). Special session: AI for K-12 guidelines initiative. *SIGCSE 2019 - Proceedings of the 50th ACM Technical Symposium on Computer Science Education*, pp. 492–493. <https://doi.org/10.1145/3287324.3287525>
- Touretzky, D., Martin, F., Seehorn, D., Breazeal, C., & Posner, T. (2019b). Special session: AI for K-12 guidelines initiative. *Proceedings of the 50th ACM Technical Symposium on Computer Science Education*, pp. 492–493. <https://doi.org/10.1145/3287324.3287525>
- Turing, A. (1950). Computing Machinery and Intelligence. *Mind*, 236, pp. 433–460.
- UNESCO. (2019). *Consenso de Beijing sobre la inteligencia artificial y la educación*.
- UNESCO. (2019a). *Actas de la Conferencia General, 40a reunión. 40 C/RESOLUTIONS VOL.1*. [https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000372579\\_spa.page=40](https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000372579_spa.page=40).
- UNESCO. (2019c). *International conference on Artificial intelligence and Education, Planning education in the AI Era: Lead the leap: final report*. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000370967>.
- UNESCO. (2020). La Inteligencia Artificial en la Educación. <https://es.unesco.org/themes/tic-educacion/inteligencia-artificial>
- Vaquero de Miguel, G. (2020). Aproximaciones a la Explicación de Decisiones Algorítmicas: Inteligencia Artificial Explicable. Universidad Politécnica de Madrid.
- Van Brummelen, J. (2019b). Tools to Create and Democratize Conversational Artificial Intelligence.
- Van Brummelen, J., & Lin, P. (2020). Engaging Teachers to Co-Design Integrated AI Curriculum for K-12 Classrooms. ArXiv.
- Van BRUMMELEN, J., Shen, J. H., & Patton, E. W. (2019). The popstar, the poet, and the grinch: Relating artificial intelligence to the computational thinking framework with block-based coding. *Proceedings of International Conference on Computational Thinking Education*, pp. 160–161.

- Vazhayil, A., Shetty, R., Bhavani, R. R., & Akshay, N. (2019). Focusing on Teacher Education to Introduce AI in Schools: Perspectives and Illustrative Findings. *2019 IEEE Tenth International Conference on Technology for Education (T4E)*, 71–77. <https://doi.org/10.1109/T4E.2019.00021>
- Vico, F., Masa, J., & García, R. (2019). Toolbox.Academy: Coding & Artificial Intelligence Made Easy for Kids, Big Data for Educators. *EDULEARN19 Proceedings*, 1, 5173–5178. <https://doi.org/10.21125/edulearn.2019.1279>
- Wan, X., Zhou, X., Ye, Z., Mortensen, C. K., & Bai, Z. (2020). SmileyCluster: Supporting Accessible Machine Learning in K-12 Scientific Discovery. *Proceedings of the Interaction Design and Children Conference*, pp. 23–35. <https://doi.org/10.1145/3392063.3394440>
- Wang, H., Liu, Y., Han, Z., & Wu, J. (2020). Extension of media literacy from the perspective of artificial intelligence and implementation strategies of artificial intelligence courses in junior high schools. *2020 International Conference on Artificial Intelligence and Education (ICAIE)*, 63–66. <https://doi.org/10.1109/ICAIE50891.2020.00022>
- Williams, R., Park, H. W., & Breazeal, C. (2019). A is for Artificial Intelligence: The Impact of Artificial Intelligence Activities on Young Children’s Perceptions of Robots. *Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 1–11. <https://doi.org/10.1145/3290605.3300677>
- Wolfram, S. (2017). Machine Learning for Middle Schoolers. <https://writings.stephenwolfram.com/2017/05/machine-learning-for-middle-schoolers/>
- World Economic Forum. (2018). The Future of Jobs 2018. <https://bit.ly/3d3DZNn>
- Wong, G. K. W., Ma, X., Dillenbourg, P., & Huan, J. (2020). Broadening artificial intelligence education in K-12. *ACM Inroads*, 11(1), pp. 20–29. <https://doi.org/10.1145/3381884>
- Wong, G. K. W., Ma, X., & Huen, J. (2019). When schools meet artificial intelligence in Hong Kong. *ACM Inroads*, 10(4), 43–46. <https://doi.org/10.1145/3369739>
- Woo, H., Kim, J., Kim, J., & Lee, W. (2020). Exploring the AI Topic Composition of K-12 Using NMF-based Topic Modeling. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 10(4), 1471. <https://doi.org/10.18517/ijaseit.10.4.12787>
- Young, R., & Ringenberg, J. (2019). Machine Learning: An Introductory Unit of Study for Secondary Education. *Proceedings of the 50th ACM Technical Symposium on Computer Science Education*, 1274. <https://doi.org/10.1145/3287324.3293806>

Zimmermann-Niefield, A., Polson, S., Moreno, C., & Shapiro, R. B. (2020). Youth making machine learning models for gesture-controlled interactive media. *Proceedings of the Interaction Design and Children Conference, IDC 2020*, 63–74. <https://doi.org/10.1145/3392063.3394438>

Zimmermann-Niefield, A., Turner, M., Murphy, B., Kane, S. K., & Shapiro, R. B. (2019). Youth Learning Machine Learning through Building Models of Athletic Moves. *Proceedings of the 18th ACM International Conference on Interaction Design and Children*, 121–132. <https://doi.org/10.1145/3311927.3323139>