

¿Qué cielo tenemos hoy? Machine Learning para identificar nubes en Educación Primaria

What's the Sky Like Today? Using Machine Learning to Identify Clouds in Primary Education

Sebastià Serrano Reynal¹, Ana María Zafra Ruano²,
Constanza Ruiz²

¹ LCI Bogotá, Colombia

² Universidad Internacional de La Rioja (UNIR), España

sebastia.serrano@lci.edu.co , ana.zafra@unir.net , constanza.ruiz@unir.net

RESUMEN. Este estudio tiene como objetivo analizar las percepciones y evidencias de aprendizaje que emergen al introducir actividades educativas basadas en el aprendizaje automático (Machine Learning, ML) en Educación Primaria, orientadas al desarrollo del pensamiento computacional (PC) y la alfabetización digital. Para ello, se diseñó e implementó una propuesta didáctica en la que los estudiantes entrenaron modelos para clasificar imágenes de nubes y desarrollaron aplicaciones en Scratch. Participaron 82 estudiantes de 4º y 6º de Primaria de un centro educativo en Bogotá (Colombia). La investigación adoptó un enfoque metodológico mixto, combinando instrumentos cualitativos y cuantitativos. Se realizó además una prueba de McNemar para analizar la adquisición de conocimientos. Los resultados evidencian mejoras significativas en la comprensión del funcionamiento del ML, el reconocimiento de tipos de nubes y el desarrollo de habilidades de PC. En conjunto, el estudio confirma la viabilidad pedagógica del ML como herramienta para promover aprendizajes significativos e interdisciplinarios.

ABSTRACT. This study aims to analyze students' perceptions and learning outcomes emerging from the introduction of educational activities based on Machine Learning (ML) in primary education, with a focus on developing computational thinking (CT) and digital literacy. To this end, a didactic proposal was designed and implemented in which students trained models to classify images of clouds and developed applications using Scratch. A total of 82 students from 4th and 6th grades at a school in Bogotá (Colombia) participated in the study. The research adopted a mixed-methods approach, combining qualitative and quantitative instruments. Additionally, McNemar's test was applied to analyze knowledge acquisition. The results show significant improvements in students' understanding of how ML works, their ability to recognize different types of clouds, and the development of CT skills. Overall, the study confirms the pedagogical feasibility of ML as a tool to promote meaningful and interdisciplinary learning experiences.

PALABRAS CLAVE: Aprendizaje automático, Pensamiento computacional, Educación primaria, Inteligencia artificial, STEM.

KEYWORDS: Machine learning, Computational thinking, Primary education, Artificial intelligence, STEM.

1. Introducción

En un mundo donde la ciencia, la tecnología y la innovación avanzan a un ritmo acelerado, la educación debe evolucionar para preparar a los estudiantes con habilidades que les permitan comprender y transformar su entorno. La educación STEM (Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas) ha surgido como un enfoque pedagógico que fomenta el aprendizaje dinámico e interdisciplinario, promoviendo la experimentación, la resolución de problemas y el trabajo cooperativo (Quigley et al., 2020). Combinada con metodologías activas, esta perspectiva no solo permite adquirir conocimientos científicos y tecnológicos, sino también desarrollar competencias clave como el pensamiento crítico y la creatividad (Freeman et al., 2014).

En este marco, el Pensamiento Computacional (PC) se consolida como una competencia esencial. Este proceso se define como la capacidad para abordar problemas complejos mediante la descomposición en partes, el reconocimiento de patrones, la creación de modelos y el diseño de algoritmos (Barr & Stephenson, 2011; Cruz Rincoñ et al., 2025; National Research Council, 2012; Wing, 2006). Además de fomentar el razonamiento lógico y algorítmico, el PC facilita el aprendizaje significativo de conceptos científicos y matemáticos, promueve la creatividad y permite tomar decisiones informadas (Campina-López et al., 2024; Roldán-Segura et al., 2018). Aunque el PC se reconoce como una capacidad clave dentro del desarrollo de la competencia digital tanto en el Real Decreto 157/2022 para Educación Primaria como en el Real Decreto 217/2022 para Educación Secundaria, sigue siendo necesario integrarlo mediante metodologías activas como la modelización o la indagación científica (Gobierno de España, 2022a, 2022b; Fussero et al., 2021). Una de las metodologías que mejor se alinea con este enfoque es el Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP), que favorece la resolución de problemas reales mediante la integración de saberes disciplinares. Inspirado en el método de proyectos de Kilpatrick (1918), el ABP promueve la indagación, el análisis basado en evidencias y el desarrollo de la competencia científica (Caamaño, 2018; Domènech-Casal et al., 2019; Zhao & Wang, 2022).

En este contexto, la Inteligencia Artificial (IA) y el Aprendizaje Automático (Machine Learning, ML) se integran progresivamente en la vida cotidiana - desde redes sociales hasta plataformas de consumo - sin que los usuarios comprendan del todo sus fundamentos. Esta desconexión ha impulsado el interés por incluir la IA en la educación a través de propuestas didácticas diversas: robótica educativa (Kandlhofer et al., 2019), agentes conversacionales (Katuka et al., 2023), simulaciones, programación por bloques (de Freitas & Weingart, 2021) o análisis de datos visuales (Vartiainen et al., 2020). Entre ellas, destaca la utilización de datos personalizados (imágenes, vídeos, sonidos) para entrenar modelos y facilitar la comprensión del funcionamiento de los algoritmos (Hernández-Cuevas et al., 2025).

Una vía eficaz para promover la alfabetización en IA en edades tempranas es la programación educativa, ya que permite desarrollar habilidades propias del PC a través de plataformas como Scratch del MIT, Cognimates AI o App Inventor. Estas herramientas han demostrado un alto potencial didáctico, al facilitar no solo el aprendizaje de conceptos algorítmicos, sino también la motivación y el trabajo colaborativo. Martínez-Murciano & Pérez-Jorge (2024) destacan que estos entornos favorecen el desarrollo de competencias transversales como la creatividad, la autoeficacia y la interacción social. Por otro lado, Shamir & Levin (2021) critican que la enseñanza actual sigue centrada en la programación basada en reglas, con escasa atención al ML, y proponen un enfoque alternativo basado en el diseño y la enseñanza para introducir el ML en Primaria, desde una perspectiva constructorista (Yim & Su, 2025).

Tal como señalan Touretzky et al. (2019), es fundamental que los estudiantes comprendan que muchos de los sistemas actuales de IA - como los motores de recomendación o los reconocedores de voz - no se programan de manera tradicional, sino que se entrenan a partir de grandes volúmenes de datos.

El potencial del ML en la educación no se limita a su dimensión formativa. Uno de sus ámbitos de aplicación más destacados es la protección de niños y adolescentes en entornos digitales. Se han desarrollado modelos para detectar ciberacoso (Thun et al., 2022), analizar la privacidad en apps utilizadas por menores



(Liu et al., 2016) o reconocer emociones infantiles mediante expresiones faciales (Rani et al., 2021), todos con resultados prometedores y alta precisión (Meng et al., 2022).

Según Lane (2021), la introducción de proyectos prácticos de ML permite que los niños comprendan conceptos fundamentales de IA mediante actividades lúdicas y accesibles, incluso sin experiencia previa en programación. El ML se presenta como una herramienta poderosa para fomentar el PC, la alfabetización digital y la comprensión crítica de los sistemas inteligentes. Plataformas como la de Essinger & Rosen (2011) permiten a los estudiantes abordar problemas reales - como el reciclaje o la clasificación de bacterias - desde una perspectiva aplicada. De igual modo, BeeTrap, una iniciativa basada en realidad aumentada, emplea metáforas corporales para representar fenómenos como las burbujas de filtro, promoviendo el co-diseño y el aprendizaje activo (Zhou et al., 2025).

También se ha demostrado que los juegos digitales facilitan la enseñanza de la IA y el ML en niveles preuniversitarios, combinando gamificación, contexto social y aprendizaje interdisciplinario (Alam, 2022; Sakulkueakulsuk et al., 2018). Estas experiencias motivan al alumnado a comprender el funcionamiento de los algoritmos y conectar la tecnología con problemáticas del mundo real a través de dinámicas participativas.

En este marco, el PC y el ML comparten principios orientados a la resolución de problemas mediante la creación de modelos y algoritmos. Ambos implican descomposición, reconocimiento de patrones y generación de soluciones automatizadas. Así, el ML puede considerarse una extensión avanzada del PC, al permitir aplicar habilidades como la abstracción y el diseño algorítmico en contextos reales (Campina-López et al., 2024). Esta relación refuerza el valor de integrar el ML en el aula como herramienta de aprendizaje significativo.

Una aplicación concreta de esta integración es el uso del ML para la clasificación de nubes en el área de ciencias naturales. Esta propuesta, diseñada para estudiantes de Educación Primaria (8 a 12 años), articula contenidos científicos y tecnológicos mediante el entrenamiento de modelos de reconocimiento de imágenes. El enfoque promueve el aprendizaje activo, experimental e interdisciplinar, a la vez que introduce de forma accesible nociones fundamentales sobre IA. Asimismo, contribuye al desarrollo de la competencia digital y del pensamiento crítico, dimensiones esenciales en la formación integral del alumnado en la sociedad del conocimiento.

2. Objetivos

Como punto de partida de este estudio se planteó la siguiente pregunta de investigación: ¿Qué percepciones y evidencias de aprendizaje surgen en estudiantes de Primaria al participar en actividades educativas basadas en Machine Learning y orientadas al desarrollo del Pensamiento Computacional y la alfabetización digital?

Para responder a esta pregunta se plantearon los siguientes objetivos de investigación:

- Diseñar e implementar una propuesta didáctica con actividades basadas en Machine Learning adaptadas al nivel de Educación Primaria.
- Analizar las percepciones de los estudiantes sobre su experiencia de aprendizaje.
- Identificar evidencias de aprendizaje activo y experimental a través del trabajo con datos, modelos y algoritmos sencillos durante la experiencia educativa.
- Evaluar el desarrollo de habilidades asociadas al Pensamiento Computacional en estudiantes de Primaria mediante instrumentos cualitativos y cuantitativos.

3. Metodología

3.1. Diseño de la investigación

El presente estudio adopta un diseño descriptivo-evaluativo centrado en la implementación de una

propuesta de innovación didáctica basada en el uso de Machine Learning (ML) en Educación Primaria. Desde un enfoque metodológico mixto - cualitativo y cuantitativo - (Bisquerra, 2004), se ha analizado el desarrollo de competencias asociadas al Pensamiento Computacional (PC) y la alfabetización digital, así como las percepciones del alumnado sobre la experiencia. Se trata de un estudio de caso contextualizado, en el que se emplearon diversos instrumentos para la recogida de datos: observaciones sistemáticas realizadas por la docente que lideró la propuesta en el aula; un cuestionario pretest, destinado tanto a identificar las nociones previas del alumnado sobre conceptos clave como ML y la clasificación de nubes, como a evaluar su conocimiento inicial; un cuestionario posttest para valorar los aprendizajes adquiridos; y un cuestionario de valoración final con preguntas abiertas y cerradas. Todos los datos fueron recogidos bajo condiciones de anonimato desde el inicio del estudio, garantizando la confidencialidad de la información y comunicando expresamente al alumnado que sus respuestas serían utilizadas únicamente con fines de investigación.

Para el tratamiento y análisis de los datos se empleó el software estadístico IBM SPSS (versión 25). La categorización de las respuestas a las preguntas abiertas de los estudiantes se realizó con el apoyo de ChatGPT 4.0 (OpenAI). Las figuras derivadas del análisis estadístico fueron elaboradas utilizando Microsoft Excel (versión 365).

3.2. Participantes

La muestra del estudio estuvo compuesta por 82 estudiantes de Educación Primaria, distribuidos en dos niveles educativos: 38 alumnos de cuarto curso y 44 de sexto curso. La intervención se llevó a cabo en grupos mixtos y heterogéneos, y todos los participantes formaban parte del mismo centro educativo.

La experiencia tuvo lugar en el Centro Cultural y Educativo Español Reyes Católicos, ubicado en Bogotá (Colombia), una institución bicultural que forma parte de la red de centros del Ministerio de Educación de España en el exterior. El centro está integrado en los sistemas educativos colombiano y español, lo que permite a su alumnado obtener titulaciones válidas en ambos países.

Cuenta con una infraestructura sólida y recursos tecnológicos que favorecen la aplicación de metodologías pedagógicas innovadoras, como el uso de IA en el aula. El claustro está compuesto mayoritariamente por profesorado español, aunque también cuenta con docentes colombianos, lo que enriquece la perspectiva educativa del centro. El alumnado está compuesto principalmente por estudiantes colombianos o con doble nacionalidad, pertenecientes a clases medias y medias-altas. Cabe señalar que el centro no escolariza alumnado con necesidades educativas especiales, ya que no dispone de personal psicopedagógico especializado.

Durante la intervención, se observó un clima de aula positivo y cooperativo, con estudiantes familiarizados con el uso de entornos digitales y herramientas tecnológicas, lo cual facilitó la implementación de la propuesta didáctica. Los familiares o tutores de los 82 estudiantes participantes en el estudio fueron debidamente informados sobre los objetivos de la investigación y completaron el correspondiente proceso de consentimiento informado.

3.3. Instrumentos y medidas

Para la recogida de datos se emplearon diversos instrumentos diseñados ad hoc, con el objetivo de evaluar tanto el conocimiento previo como el impacto educativo de la propuesta didáctica basada en ML. Los ítems se detallan en la Tabla 1.

- Cuestionario previo: incluía preguntas abiertas, ítems de opción múltiple y preguntas tipo Likert, orientadas a explorar las nociones iniciales del alumnado sobre ML, la clasificación de nubes y la relación entre tipos de nubes y el clima.
- Cuestionario posterior: administrado tras la implementación de la propuesta, permitió valorar el aprendizaje adquirido en relación con los mismos conceptos tratados en el cuestionario previo. La



comparación de resultados se realizó mediante una prueba de McNemar.

• Cuestionario de valoración final: combinaba ítems de respuesta cerrada (escala Likert) con preguntas abiertas para recoger la percepción global del alumnado sobre la experiencia. Permitió analizar el interés por la actividad, la utilidad percibida, la comprensión del funcionamiento de la inteligencia artificial y el trabajo cooperativo.

Cuestionario	Tipo de pregunta	Preguntas	Finalidad
Previo	Abierta (respuesta libre)	¿Para qué crees que sirve identificar los diferentes tipos de nubes? ¿Cómo crees que una computadora puede aprender a reconocer imágenes?	Conocimiento previo
	Cerrada tipo nominal (selección única)	¿Has escuchado hablar de la inteligencia artificial o el aprendizaje automático (<i>Machine Learning</i>)?	Conocimiento previo
	Cerrada tipo Likert (1-5)	¿Cuánto interés tienes en aprender sobre los tipos de nubes? ¿Cuánto sabes sobre la relación entre las nubes y el clima? ¿Crees que el clima afecta tu día a día? ¿La tecnología puede ayudarte a entender mejor la naturaleza? ¿Cuánto sabes sobre cómo funciona el " <i>machine learning</i> "? ¿Entender esta tecnología digital puede ser útil para tu vida diaria? ¿Cuánto sabes sobre programación o <i>Scratch</i> ? ¿Cuánto disfrutas trabajar en equipo para resolver problemas?	Actitud, conocimiento y percepciones
	Cerrada tipo nominal (múltiple)	¿Cuáles de los siguientes tipos de nubes conoces?	Comprensión conceptual
Posterior	Abierta (respuesta libre)	¿Cómo describirías la relación entre los diferentes tipos de nubes y el clima? Después de la actividad, ¿cómo definirías <i>Machine Learning</i> ? ¿Cómo se entrena una inteligencia artificial para reconocer imágenes?	Conocimiento científico y técnico
	Cerrada tipo nominal (múltiple)	¿Cuáles de los siguientes tipos de nubes conoces?	Comprensión conceptual
Valoración final	Cerrada tipo Likert (1-5)	¿Cuánto crees que mejoraste en el reconocimiento de tipos de nubes? ¿Cuánto mejoraste en tu comprensión sobre <i>Machine Learning</i> ? ¿Cuánto entendiste sobre cómo funciona una inteligencia artificial? ¿Te gustaría seguir aprendiendo sobre inteligencia artificial? ¿Cuánto mejoraste en el uso de <i>Scratch</i> y herramientas digitales? ¿La actividad te ayudó a conectar la ciencia y la tecnología con tu vida cotidiana? ¿Mejoraste tus habilidades de trabajo en equipo? ¿Te sientes seguro/a para poder explicar a alguien más cómo funciona el proyecto que desarrollaste? ¿Crees que el modelo que has creado identificaría nubes de noche?	Percepción o motivación

Tabla 1. Instrumentos para la recogida de información. Fuente: Elaboración propia.

Los cuestionarios tipo Likert utilizaron una escala de cinco puntos, donde 1 correspondía a la valoración más baja y 5 a la más alta. La validez de contenido fue garantizada mediante revisión por parte de expertos en didáctica de las ciencias. La fiabilidad interna del instrumento se evaluó a través del coeficiente alfa de Cronbach, obteniéndose un valor de $\alpha = 0,801$, lo que indica una consistencia interna adecuada (George & Mallery, 2003). Este resultado respalda la coherencia de los ítems diseñados para medir las dimensiones analizadas.

Se utilizaron sugerencias iniciales de categorización generadas por ChatGPT 4.0 como apoyo en la primera lectura, que luego fueron revisadas, afinadas y aplicadas manualmente por dos codificadores independientes. Dos codificadores realizaron la categorización de forma independiente en cada una de las preguntas abiertas

del cuestionario inicial y final. Posteriormente, se compararon las asignaciones y se discutieron los casos con discrepancias hasta alcanzar el consenso. Para estimar el nivel de acuerdo inicial, se calcularon los índices de Kappa de Cohen por pregunta. En el cuestionario inicial, los valores fueron $K = 0,883$ y $K = 0,845$, mientras que en el cuestionario final se obtuvieron $K = 0,876$, $K = 0,852$ y $K = 0,954$, todos estadísticamente significativos ($p < 0,001$), lo que indica un acuerdo casi perfecto entre codificadores según los criterios establecidos por McHugh (2012). Estos resultados respaldan la fiabilidad del sistema de categorías empleado. La confirmabilidad del análisis se garantizó mediante revisión cruzada y discusión sistemática de las diferencias.

Todos los instrumentos fueron aplicados garantizando el anonimato y la confidencialidad de las respuestas, y su uso fue exclusivo con fines de investigación educativa.

3.4. Diseño de la propuesta de aula

La propuesta didáctica se diseñó a partir de la metodología de ABP junto con el desarrollo del PC y mediante el uso de ML. La propuesta fue dirigida al área de Ciencias Naturales en Educación Primaria, esta experiencia fomenta la resolución de una pregunta guía a través del trabajo cooperativo, la investigación y la elaboración de un producto final funcional. Los elementos del currículo oficial establecidos en el Real Decreto 157/2022 - incluidos los saberes básicos, competencias específicas y criterios de evaluación - se detallan en el anexo A (<https://bit.ly/3VmKkMz>).

A continuación, en la Tabla 2, se describen las diez etapas que conforman la secuencia de enseñanza-aprendizaje implementada.

Etapas	Descripción
1. Motivación y presentación	- Creación de un escenario narrativo para conectar la actividad con la vida cotidiana de los estudiantes. - Explicación sencilla de qué es el <i>Machine Learning</i> con ejemplos prácticos: "Imagina que enseñas a una máquina a reconocer si una nube predice lluvia o sol". - Introducción a los principales tipos de nubes: cúmulos, estratos, cirros y cumulonimbos, vinculando sus características con el clima.
2. Selección del tema y planteamiento de la pregunta guía	- Planteamiento de una pregunta abierta que estimule la curiosidad: ¿Cómo podemos enseñar a una máquina a identificar nubes? - Discusión sobre conocimientos previos y estrategias para responder a la pregunta.
3. Formación de los equipos	- Se organizan grupos de tres o cuatro alumnos, asegurando diversidad de perfiles y asignando roles.
4. Definición del producto final	- Se presenta la plataforma <i>Machine Learning For Kids</i> (MLFK) que integra la clasificación de imágenes, el entrenamiento del modelo y la creación de la aplicación con <i>Scratch</i>. - Se establece que los alumnos deben desarrollar una aplicación funcional en <i>Scratch</i> que clasifique nubes. - Se proporciona una rúbrica con objetivos y criterios de evaluación.
5. Planificación del trabajo	- Elaboración de un plan donde se asignan tareas, responsables y plazos.
6. Investigación y búsqueda de información	- Recolección y análisis de datos sobre nubes y su clasificación. - Identificación de fuentes confiables y análisis de imágenes.
7. Análisis, síntesis y gestión de la información	- Clasificación de la información recopilada en los modelos de aprendizaje automático y entrenamiento del modelo. - Los equipos ponen en común la información recopilada, discuten ideas y organizan el contenido.
8. Elaboración del producto: Creación de la aplicación en Scratch	- Se vincula el modelo entrenado con <i>Scratch</i> a través de la plataforma. - Los estudiantes desarrollan una aplicación que, a través de la cámara del dispositivo, identifica y describe el tipo de nube observada.
9. Difusión del producto	- Los estudiantes utilizan el dispositivo para identificar nubes reales. - Presentan su aplicación a sus compañeros, explicando su funcionamiento y el proceso de desarrollo.
10. Respuesta colectiva a la pregunta inicial	- Reflexión conjunta sobre los aprendizajes adquiridos y cómo se ha resuelto la pregunta guía.

Tabla 2. Etapas del diseño e implementación de la propuesta didáctica basada en ABP y el ML. Fuente: Elaboración propia.

Durante la fase de creación del modelo y desarrollo del producto final, los estudiantes utilizaron el portal "Machine Learning for Kids" (MLFK) para entrenar su aplicación. En una primera pantalla (ver Figura 1), clasificaron imágenes de nubes en función de los tres tipos principales abordados en la actividad: cúmulos, estratos y cirros. Esta tarea, vinculada a la etapa de investigación y análisis de la información, les permitió construir un conjunto de datos personalizado a partir de recursos visuales.

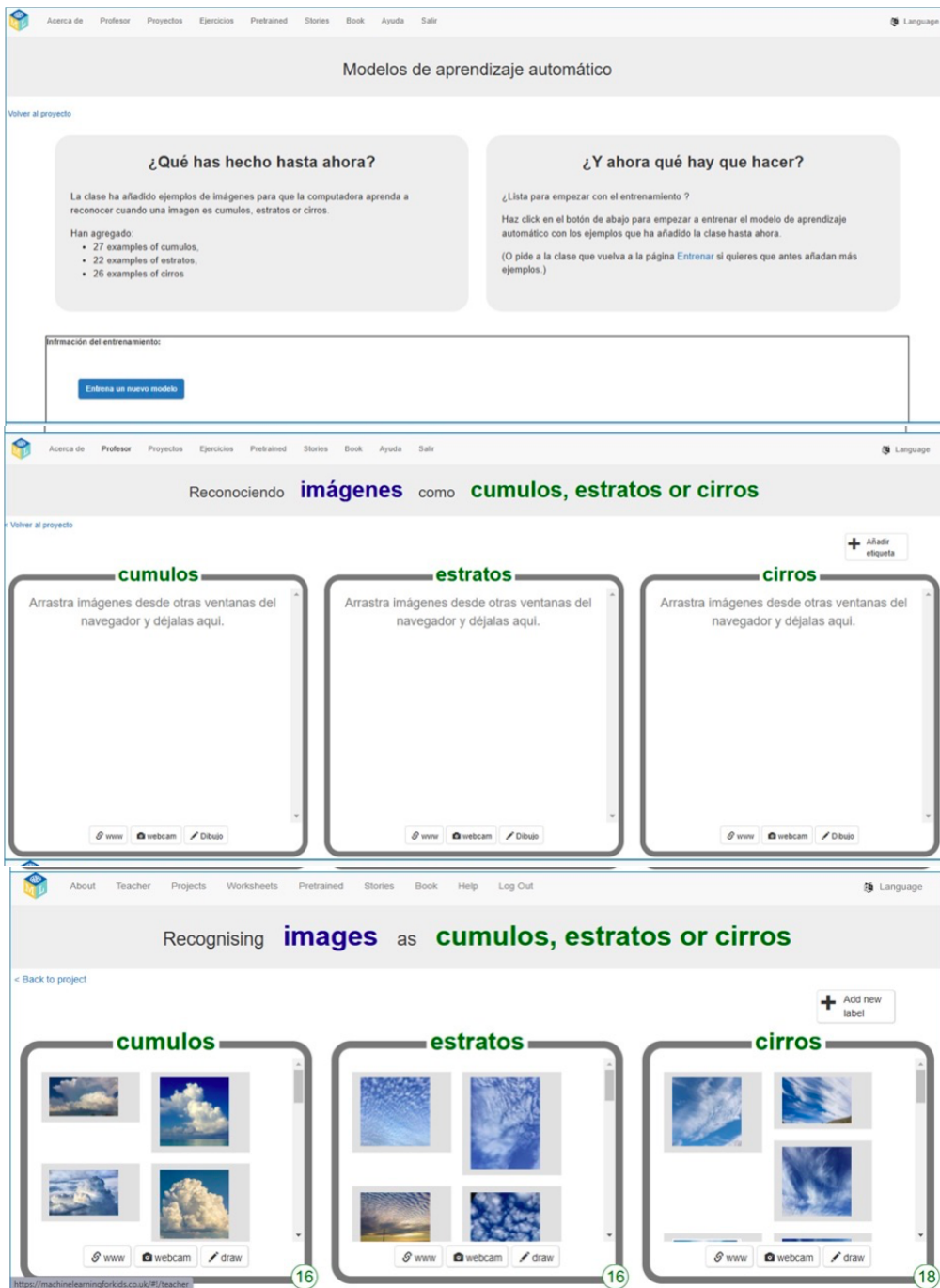


Figura 1. Captura de pantalla del trabajo en Machine Learning for Kids. Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, se muestra (ver Figura 2) las primeras líneas de código en Scratch, vinculadas directamente al modelo entrenado. Con solo estas líneas, la aplicación resultaba ya operativa, permitiendo que la cámara identificara y clasificara nubes en tiempo real. Esto se conseguía cambiando el logo de la nube en función de la imagen que veía a través de la webcam. La mayoría del alumnado alcanzó este punto con éxito, cumpliendo el objetivo mínimo previsto en la rúbrica de evaluación (ver anexo B: <https://bit.ly/3VmKkMz>). Para el alumnado familiarizado con la programación en Scratch, el proyecto permitía avanzar en la complejidad del

código y su vinculación con el modelo de aprendizaje automático. Como se muestra en la Figura 2 la aplicación permite introducir variables en la sensibilidad del modelo de aprendizaje y añadir información complementaria en función de la imagen que se perciba a través de la webcam.

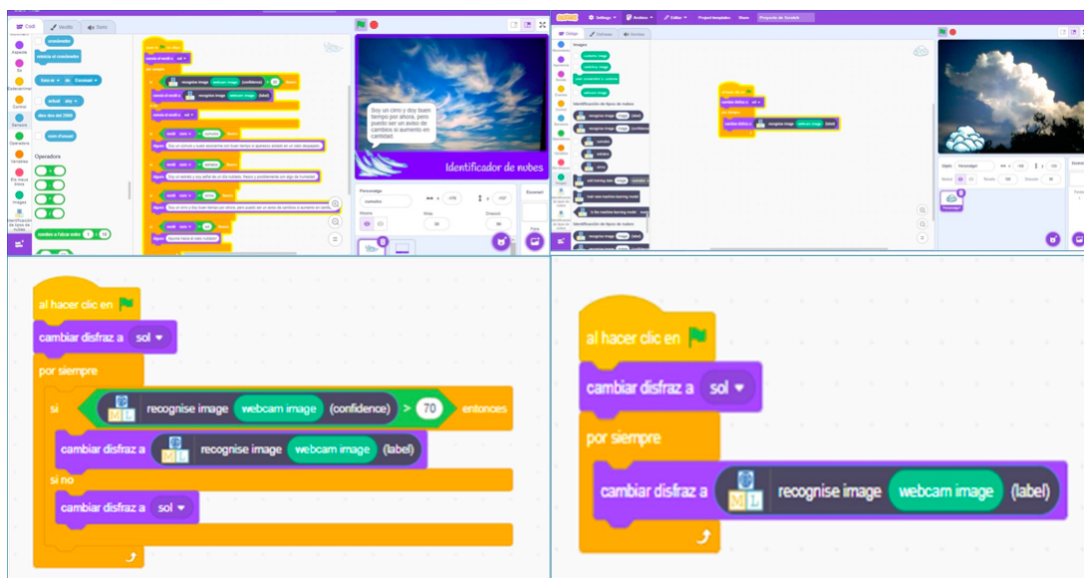


Figura 2. Captura de pantalla del trabajo en Scratch básico y avanzado. Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se muestra una imagen (Figura 3) en la que se observa al alumnado participando activamente en distintas fases del proyecto. En el aula de informática, los estudiantes trabajan en sus grupos clasificando imágenes de nubes y entrenando su modelo en la plataforma MLFK, lo que corresponde a las etapas de investigación, análisis de información y elaboración del producto. Posteriormente, integran el modelo en Scratch y programan una aplicación funcional. Y finalmente, en los espacios exteriores del centro, prueban la aplicación en contextos reales, utilizando la cámara del dispositivo para identificar tipos de nubes en el cielo, lo que refleja tanto la fase de desarrollo como la validación del producto creado.



Figura 3. Captura de pantalla del trabajo de los estudiantes. Fuente: Elaboración propia.

4. Resultados y discusión

Antes de comenzar con el desarrollo de la propuesta, se plantearon al alumnado una serie de preguntas abiertas dirigidas a explorar las ideas preconcebidas sobre la identificación de los tipos de nubes y el reconocimiento de imágenes. En la Tabla 3 se observa que, ante la pregunta “¿Para qué crees que sirve

identificar los diferentes tipos de nubes?", la mayoría de los estudiantes mencionó su utilidad para la predicción del tiempo, especialmente en 6° de Primaria (19,51 %). No obstante, un porcentaje significativo no supo responder (20,73 %), lo que pone de manifiesto la necesidad de reforzar estos contenidos en el aula.

En cuanto a la pregunta "¿Cómo crees que una computadora puede aprender a reconocer imágenes?", destaca que un 14,63 % del alumnado de 6° y un 12,20 % de 4° hizo mención la IA, lo que sugiere cierta familiaridad con el concepto. Sin embargo, un alto porcentaje tampoco supo responder (23,17 % en 6°), lo que evidencia un área clave para trabajar la alfabetización digital en las primeras etapas educativas.

¿Para qué crees que sirve identificar los diferentes tipos de nubes?				
Categoría	Curso	Ejemplo de respuesta	N.º	%
Conocimiento o estudio	4º	"Para estudiarlas" "Para aprender"	2	2,44
	6º	"Creo que sirve para aprender" "Para poder estudiarlos"	2	2,44
Predicción del tiempo o clima	4º	"Para saber que tiempo hace" "Para saber cuál clima va a hacer" "Para saber si va a llover o no y si va a caer granizo o trueno"	14	17,04
	6º	"Para reconocer cuando va a llover o cosas así" "Para saber que clima va a haber y ver que tan caliente está el día" "Sirve para poder saber el clima con mejor exactitud"	16	19,51
Otras respuestas	4º	"Para dar agua a la tierra" "Para saber qué es cada tipo de nube" "Para saber si son muy viejas o se han creado ahora"	5	6,10
	6º	"Creo que para algunas personas es importante, pero para otras no" "Creo que sirve para saber más de la naturaleza" "Para organizar dispositivos"	9	10,98
No sabe o no responde	4º	"No sé"	17	20,73
	6º	"No sé para qué sirven" "No sé, no le veo utilidad"	17	20,73
¿Cómo crees que una computadora puede aprender a reconocer imágenes?				
Aplicaciones	6º	"Podría con una aplicación que le muestres una imagen y diga lo que es" "Con una aplicación"	2	2,44
Menciona IA	4º	"Porque las memoriza porque los ordenadores tienen memoria digital" "Por la inteligencia artificial"	8	9,76
	6º	"Aprende mediante patrones" "Creo que se logra con inteligencia artificial" "Creo que puede aprender a reconocer imágenes mediante un programa de programación" "con una IA programada que reconozca cosas"	12	14,63
Procesamiento de datos	6º	"Creo que cada imagen tiene un código y así puedes reconocerlas"	1	1,22
Programación / Software	6º	"Tienes que programarla para que lo haga"	1	1,22
Sensores / Hardware	6º	"Por diferentes sensores" "Con las antenas"	2	2,44
Otras respuestas	4º	"Porque es tecnología avanzada" "Con una cámara" "Obteniendo información sobre la imagen"	11	13,41
	6º	"Porque los creadores ponen todo el conocimiento allí" "Creo que una computadora podría aprender a relacionar" "Puede ser poniéndole información para que aprenda"	9	10,98
No sabe o no responde	4º	"No sé"	19	23,17
	6º	"No sé"	17	20,73

Tabla 3. Preguntas abiertas previas al desarrollo de la propuesta. Fuente: Elaboración propia.

La Figura 4 muestra que la mayoría del alumnado de 4° y 6° de Primaria ha oído hablar de la IA, aunque no sabe cómo funciona (55% y 62% respectivamente). Solo una minoría afirma entender su funcionamiento, especialmente en 6° (24 %), mientras que alrededor de un cuarto del alumnado no tiene ningún conocimiento previo.

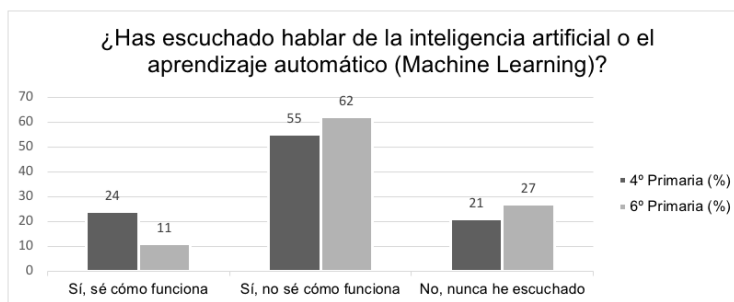


Figura 4. Nivel de conocimiento previo sobre inteligencia artificial y aprendizaje automático en estudiantes de 4° y 6° de Primaria.

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 4 y la Figura 5 se observa una tendencia general positiva en las actitudes del alumnado hacia el uso de la tecnología y el trabajo cooperativo. La pregunta con mayor puntuación media en ambos cursos fue “¿Cuánto disfrutas de trabajar en equipo para resolver problemas?”, con medias de 4,13 en 4º y 4,20 en 6º, lo que evidencia una buena disposición hacia el trabajo cooperativo. En lo relativo al conocimiento, se observa que los ítems con menores puntuaciones medias son “¿Cuánto sabes sobre cómo funciona el machine learning?” (1,87 en 4º; 1,43 en 6º) y “¿Cuánto sabes sobre la relación entre las nubes y el clima?” (2,37 en 4º; 2,48 en 6º), lo que pone de manifiesto un conocimiento limitado en estos ámbitos y, por tanto, la necesidad de reforzar dichos contenidos. Por el contrario, aspectos como la percepción de la utilidad de la tecnología en la vida diaria (media de 3,55 en 4º y 3,70 en 6º) y el interés por aprender sobre los tipos de nubes (media de 3,26 y 3,36, respectivamente) reflejan una actitud favorable hacia el aprendizaje de estos contenidos, lo que puede ser un punto de partida para diseñar propuestas didácticas motivadoras y significativas.

	4º primaria			6º primaria		
	Media	Moda	σ	Media	Moda	σ
¿Cuánto interés tienes en aprender sobre los tipos de nubes?	3,26	3	1,22	3,36	4	1,04
¿Cuánto sabes sobre la relación entre las nubes y el clima?	2,37	2	1,26	2,48	2	1,17
¿Crees que el clima afecta tu día a día?	3,39	5	1,60	3,98	5	1,19
¿La tecnología puede ayudarte a entender mejor la naturaleza?	3,47	5	1,47	3,82	5	1,15
¿Cuánto sabes sobre cómo funciona el “machine learning”?	1,87	1	1,44	1,43	1	0,82
¿Entender esta tecnología digital puede ser útil para tu vida diaria?	3,55	3	1,22	3,70	4	1,13
¿Cuánto sabes sobre programación o Scratch?	2,58	1	1,54	3,00	3	1,22
¿Cuánto disfrutas trabajar en equipo para resolver problemas?	4,13	5	1,12	4,20	5	1,11

Tabla 4. Preguntas tipo Likert previas al desarrollo de la propuesta. Fuente: Elaboración propia.

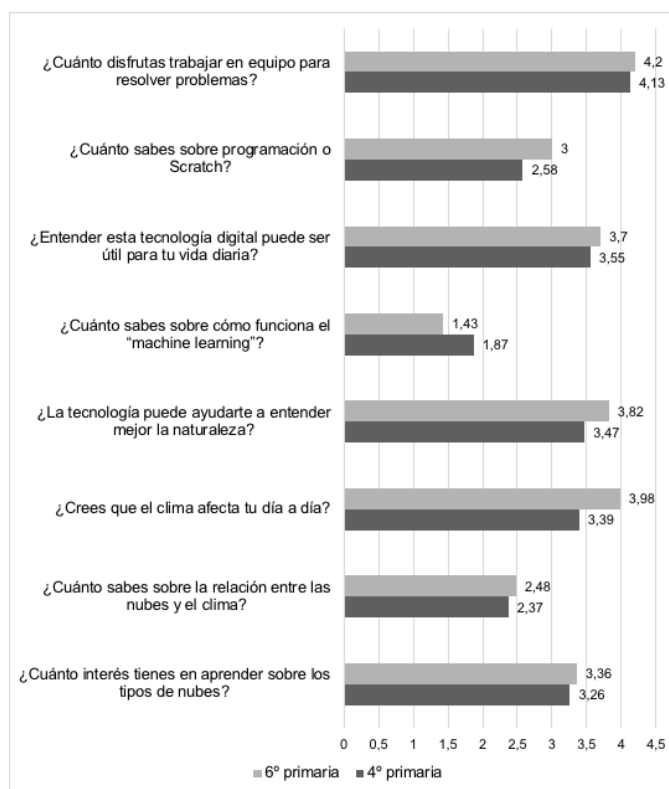


Figura 5. Valoración media inicial de conocimientos, actitudes e intereses sobre tecnología y fenómenos naturales en estudiantes de 4º y 6º de Primaria. Fuente: Elaboración propia.

Tras la implementación de la propuesta, se evidencian avances en la comprensión de conceptos asociados tanto a fenómenos naturales como a tecnologías emergentes (ver Tabla 5). En lo que respecta a la relación entre los tipos de nubes y el clima, el 37,80 % del alumnado de 6º proporcionó explicaciones que reflejan una conexión clara entre observaciones y predicciones meteorológicas. Asimismo, las definiciones aportadas por el alumnado sobre ML tras la actividad muestran un progreso significativo: un 17,07 % ofreció explicaciones que incorporan nociones como “entrenamiento de una máquina” o “aplicación para reconocer imágenes”. Estas respuestas evidencian una incipiente comprensión algorítmica y del modelo de entrada-procesamiento-salida, ejes vertebradores del PC. El modo en que los estudiantes describen el entrenamiento de una IA también es revelador: referencias a “mostrar imágenes con códigos” (14,63 %) y “programar con Scratch” (12,20 %) sugieren que han comenzado a asimilar procesos básicos de codificación y programación, lo cual implica un desarrollo inicial en áreas como la descomposición de tareas, la abstracción y el diseño de soluciones. En conjunto, los datos respaldan que la propuesta didáctica favoreció no solo la comprensión conceptual, sino también el desarrollo de competencias clave del PC en edades tempranas, demostrando que es posible introducir estos contenidos de forma accesible y significativa en el currículo de Primaria.

¿Cómo describirías la relación entre los diferentes tipos de nubes y el clima?				
Categoría	Curso	Ejemplo de respuesta	N.º	%
Comprensión de la relación entre tipos de nubes y clima	4º	"estratos: nublados altos y tapan el sol; cúmulos: parecen algodón de azúcar y están en el medio; cirros parecen pelos y son muy altos."	6	7,32
	6º	"estratos 80/90% lluvia altas posibilidades; cúmulos mayormente despejado 40/30% lluvia bajas posibilidades; cirros, cambios en el clima a lo largo del día."	31	37,80
Descripciones físicas sin relación climática	4º	"estratos tapan todo el cielo, cúmulos parecen esponjas, cirros están altos y son flacos"	1	1,22
	6º	"con los estratos, cielo gris; cirros, hilos en el cielo; cúmulos, algodón"	1	1,22
Respuestas emocionales	6º	"la describiría como interesante y divertida"	2	2,44
Otros	4º	"para ver que clima va a hacer" "No sé"	31	37,80
	6º	"ayudan a conocer mejor el clima" "No sé"	10	12,20
Después de la actividad, ¿cómo definirías Machine Learning?				
Descripciones de Machine Learning	4º	"es una aplicación de inteligencia artificial" "es una plataforma para que el ordenador reconozca imágenes"	6	7,32
	6º	"lo definiría como una aplicación para enseñarle al computador" "yo defino machine learning como un entrenamiento a una máquina"	14	17,07
Percepción positiva	4º	"es una plataforma para que el ordenador reconozca imágenes"	15	8,29
	6º	"una plataforma donde se le puede enseñar a la computadora a reconocer imágenes"	15	18,29
Percepción negativa	4º	"No me gustó, me estresé"	7	8,54
	6º	"lo definiría como difícil"	2	2,44
¿Cómo se entrena una inteligencia artificial para reconocer imágenes?				
Entrenamiento con imágenes	4º	"mostrando fotos, le pones fotos y le pones códigos" "primero lo entrenas mostrándole fotos dependiendo de lo que le quieras enseñar"	18	21,95
	6º	"Primero poniendo las imágenes y después con machine learning" "Dándole imágenes a la IA"	31	37,8
Programación y codificación	4º	"programándolo con Scratch"	2	2,44
	6º	"primero utilizamos machine learning y después utilizamos scratch"	4	4,88
Otros	4º	"Por los seres humanos con su inteligencia" "No sé"	18	21,95
	6º	"yo pienso que a través de la programación" "No sé"	9	10,98

Tabla 5. Preguntas abiertas al finalizar el desarrollo de la propuesta. Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 6 y la Figura 6 se observa una valoración positiva por parte del alumnado en diversos aspectos vinculados al aprendizaje tecnológico y al desarrollo de competencias asociadas al PC. Las puntuaciones más altas se encuentran en ítems relacionados con la percepción de mejora en el reconocimiento de tipos de nubes (media de 4,08 en 4º y 4,25 en 6º), lo que indica una asimilación efectiva de contenidos científicos. Asimismo, se aprecia una mejora significativa en la comprensión sobre el funcionamiento de la IA (media de 3,92 en 4º y 3,91 en 6º) y en el interés por seguir aprendiendo sobre ella, lo que evidencia una actitud favorable hacia el

conocimiento tecnológico y el desarrollo de la curiosidad computacional. La percepción de mejora en el uso de herramientas digitales como Scratch (3,29 en 4°; 3,55 en 6°) y la capacidad para explicar el funcionamiento del proyecto desarrollado (2,79 y 3,45, respectivamente) reflejan el progreso del alumnado en habilidades de expresión algorítmica y pensamiento secuencial, componentes esenciales del PC. Estas habilidades también se ven reforzadas en la conexión que el alumnado establece entre la actividad y su vida cotidiana (3,68 en 4° y 3,59 en 6°), mostrando una aplicación contextualizada del conocimiento tecnológico. Por último, la mejora en las habilidades de trabajo en equipo (3,63 en 4° y 3,77 en 6°).

	4° primaria			6° primaria		
	Media	Moda	σ	Media	Moda	σ
¿Cuánto crees que mejoraste en el reconocimiento de tipos de nubes?	4,08	4	0,85	4,25	5	0,78
¿Cuánto mejoraste en tu comprensión sobre <i>Machine Learning</i> ?	3,50	5	1,37	3,89	4	0,81
¿Cuánto entendiste sobre cómo funciona una inteligencia artificial?	3,92	5	1,32	3,91	5	1,05
¿Te gustaría seguir aprendiendo sobre inteligencia artificial?	3,87	5	1,53	4,07	5	1,25
¿Cuánto mejoraste en el uso de <i>Scratch</i> y herramientas digitales?	3,29	5	1,54	3,55	4	1,15
¿La actividad te ayudó a conectar la ciencia y la tecnología con tu vida cotidiana?	2,68	1	1,45	3,59	4	1,04
¿Mejoraste tus habilidades de trabajo en equipo?	3,63	5	1,40	3,77	4	1,01
¿Te sientes seguro/a para poder explicar a alguien más cómo funciona el proyecto que desarrollaste?	2,79	3	1,36	3,45	4	1,21
¿Crees que el modelo que has creado identificaría nubes de noche?	2,97	4	1,50	1,64	1	1,01

Tabla 6. Preguntas tipo Likert al finalizar el desarrollo de la propuesta. Fuente: Elaboración propia.

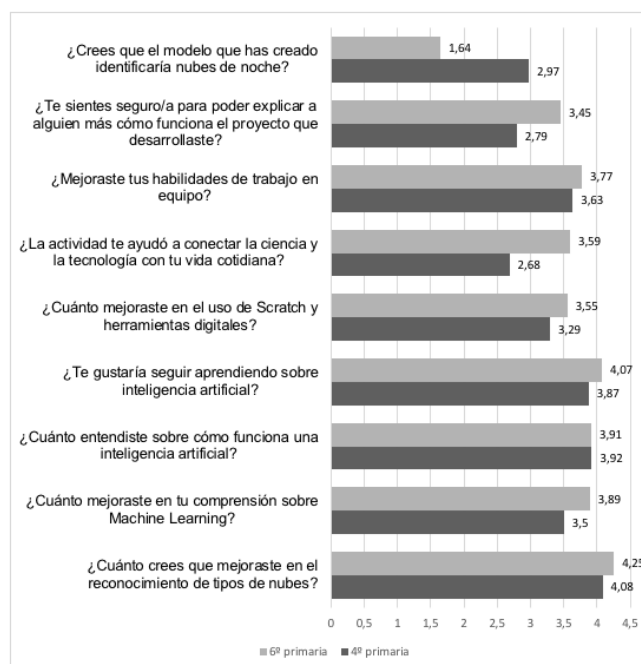


Figura 6. Valoración media final de conocimientos, actitudes e intereses sobre tecnología y fenómenos naturales en estudiantes de 4° y 6° de Primaria. Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 7 presenta los resultados del análisis pre-post mediante la prueba de McNemar aplicada a los distintos tipos de nubes en los que se evaluó al alumnado antes y después de la propuesta didáctica, tanto en 4° como en 6° de Primaria. En 4° de Primaria, se observaron diferencias estadísticamente significativas en la identificación de estratos ($p < 0,001$), cirros ($p < 0,001$) y cumulonimbos ($p = 0,016$), lo que indica una

mejora relevante en el reconocimiento de estas nubes tras la intervención. En cambio, no se registraron mejoras significativas en la identificación de cúmulos, y en el caso de los nimboestratos ($p = 0,125$), aunque hubo avances, estos no alcanzaron el umbral de significación convencional.

En 6° de Primaria, los resultados reflejan una mejora más generalizada. Se hallaron diferencias estadísticamente significativas en la identificación de estratos, cúmulos, cirros y nimboestratos (todos con $p < 0,001$), mientras que en los cumulonimbos se observó un valor próximo a la significación ($p = 0,065$), lo que podría interpretarse como una tendencia positiva de aprendizaje en este grupo. Esta evolución más sólida en el alumnado de mayor edad sugiere una mayor consolidación del aprendizaje, posiblemente asociada a un desarrollo cognitivo más avanzado y a una mayor experiencia escolar.

En conjunto, estos datos respaldan la eficacia de la propuesta en el fortalecimiento de habilidades de clasificación y reconocimiento de patrones, componentes clave del PC aplicados en un contexto científico como es la meteorología escolar.

Tipo de nube	Curso	Mejoras (0→1)	Empeora (1→0)	p-valor exacto	Significativo
Estratos	4º	35	0	< 0,001	Sí
	6º	37	3	< 0,001	Sí
Cúmulos	4º	0	2	—	No
	6º	37	1	< 0,001	Sí
Cumulonimbos	4º	7	1	0,016	Sí
	6º	9	2	0,065	No
Cirros	4º	36	0	< 0,001	Sí
	6º	40	2	< 0,001	Sí
Nimboestratos	4º	6	1	0,125	No
	6º	12	0	—	Sí

Nota. Se utilizó la prueba exacta de McNemar (distribución binomial) para comparar las respuestas pre y post intervención. Se consideraron estadísticamente significativos los resultados con $p < 0,05$. Los valores p se interpretaron según los criterios convencionales:
 $p < 0,05$: significativo
 $p < 0,01$: altamente significativo
 $p \geq 0,05$: no significativo

Tabla 7. Análisis de McNemar para 4° y 6° de primaria. Fuente: Elaboración propia.

5. Conclusiones

El presente estudio ha demostrado la viabilidad y pertinencia de introducir propuestas didácticas basadas en el aprendizaje automático (Machine Learning, ML) en el contexto de la Educación Primaria, con el propósito de desarrollar el Pensamiento Computacional (PC) y fomentar la alfabetización digital desde edades tempranas.

En relación con el primer objetivo, el diseño e implementación de una propuesta didáctica fundamentada en el Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP) ha permitido articular de forma significativa contenidos científicos y tecnológicos. La experiencia facilitó un aprendizaje activo y contextualizado, en el que el alumnado entrenó modelos de reconocimiento de imágenes y desarrolló aplicaciones funcionales mediante Scratch tal y como destacaban en su estudio Martínez-Murciano & Pérez-Jorge (2024). Esta aproximación no solo se alinea con los principios del enfoque STEM y las metodologías activas (Freeman et al., 2014; González Fernández et al., 2021; Quigley et al., 2020), sino que responde a las directrices curriculares del Real Decreto 157/2022, que reconoce el PC como una competencia transversal clave en el área de Ciencias Naturales (Gobierno de España, 2022a).

Respecto al segundo objetivo, los datos recogidos a través del cuestionario de valoración final evidencian una percepción globalmente positiva del alumnado hacia la experiencia. Se ha observado un notable interés por seguir aprendiendo sobre IA, una actitud favorable hacia el trabajo en equipo y una mejora en la comprensión de conceptos vinculados tanto al ML como a la relación entre tipos de nubes y el clima. Estos hallazgos coinciden con estudios previos que subrayan el potencial de las tecnologías emergentes para motivar al alumnado y facilitar la comprensión de fenómenos complejos (Touretzky et al., 2019; Zhou et al., 2025).

En cuanto al tercer objetivo, se recogieron múltiples evidencias de aprendizaje activo y experimental. El análisis cualitativo de las respuestas abiertas reveló que el alumnado no solo asimiló conceptos relacionados con el entrenamiento de modelos y el reconocimiento de patrones, sino que también fue capaz de transferir esos aprendizajes a contextos reales. La observación directa en el aula y las producciones finales corroboran un aprendizaje significativo, en línea con propuestas como las de Hernández-Cuevas et al. (2025) o Essinger & Rosen (2011), que abogan por una construcción del conocimiento basada en la interacción con datos y algoritmos personalizados.

El cuarto objetivo, centrado en la evaluación del desarrollo del PC, fue abordado mediante un enfoque mixto. Los análisis estadísticos (prueba de McNemar) revelaron mejoras significativas en la identificación de varios tipos de nubes tras la intervención didáctica. En 4º de Primaria, se observaron diferencias significativas en estratos, cirros y cumulonimbos ($p < 0,05$), mientras que en 6º de Primaria se hallaron mejoras estadísticamente significativas en estratos, cúmulos, cirros y nimboestratos ($p < 0,001$ en todos los casos). Además, en ambas etapas se identificaron tendencias positivas en la categoría de cumulonimbos ($p = 0,065$ en 6º) y nimboestratos ($p = 0,125$ en 4º), aunque sin alcanzar el umbral convencional. Estos resultados reflejan una consolidación progresiva de aprendizajes vinculados a la observación, clasificación y reconocimiento visual, especialmente en niveles superiores. Asimismo, las respuestas posteriores del alumnado evidencian una comprensión emergente de nociones clave como el modelo de entrada-procesamiento-salida, el diseño algorítmico y la descomposición de tareas, todos ellos componentes esenciales del PC (Barr & Stephenson, 2011; WIng, 2006).

En conjunto, los resultados obtenidos refuerzan la idea de que el ML, cuando se introduce a través de metodologías activas y enmarcado en situaciones de aprendizaje contextualizadas, puede actuar como mediador cognitivo para el desarrollo de competencias STEM (González Fernández et al., 2021), al tiempo que favorece una comprensión crítica de los sistemas inteligentes (Campina-López et al., 2024). Además, la propuesta demuestra que es posible fomentar una alfabetización temprana en IA sin renunciar a la accesibilidad, la participación ni la conexión con el currículo escolar.

Desde una perspectiva docente, los hallazgos ponen de manifiesto la necesidad de repensar las prácticas de enseñanza de las ciencias en Educación Primaria, incorporando enfoques interdisciplinares que integren el PC y la IA de forma accesible y significativa. Esta experiencia demuestra que es posible diseñar situaciones de aprendizaje que promuevan la alfabetización digital, el trabajo cooperativo y la resolución de problemas reales mediante el uso de tecnologías emergentes. Asimismo, se resalta el papel clave del profesorado como mediador y diseñador de entornos de aprendizaje conectados con los desafíos tecnológicos actuales, así como la importancia de su formación en el uso pedagógico de herramientas como Scratch y Machine Learning for Kids.

No obstante, el estudio presenta ciertas limitaciones. En primer lugar, se trata de una investigación desarrollada en un único centro educativo, con una muestra limitada y sin alumnado con necesidades educativas especiales, lo que restringe la generalización de los resultados. Además, aunque se emplearon instrumentos mixtos para la recogida de datos, sería enriquecedor incorporar en futuros estudios entrevistas o grupos focales con docentes, con el fin de explorar en mayor profundidad los procesos pedagógicos implicados. Como líneas futuras de investigación, se propone realizar un seguimiento longitudinal para analizar el impacto sostenido de este tipo de propuestas en el desarrollo del PC, así como explorar nuevas aplicaciones educativas del ML, abordando cuestiones como la ética algorítmica, el sesgo de los datos o la toma de decisiones automatizada en la vida cotidiana.

Agradecimientos

Agradecemos al Centro Cultural y Educativo Español Reyes Católicos por su colaboración y apoyo en el desarrollo de esta experiencia.



Financiación

Por otro lado, este artículo ha sido financiado por la Universidad Internacional de la Rioja (PPI11_25; Transformación Digital en la Educación: Uso de Tecnologías, Inteligencia Artificial y Competencia Digital Docente).

Cómo citar este artículo / How to cite this paper

Serrano Reynal, S., Zafra Ruano, A. M., & Ruiz, C. (2026). ¿Qué cielo tenemos hoy? Machine Learning para identificar nubes en Educación Primaria. *Campus Virtuales*, 15(2), 147-162. <https://doi.org/10.54988/cv.2026.2.1727>

Referencias

- Alam, A. (2022). A digital game based learning approach for effective curriculum transaction for teaching-learning of artificial intelligence and machine learning. In 2022 International Conference on Sustainable Computing and Data Communication Systems (ICSCDS) (pp. 69–74). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICSCDS53736.2022.9760932>
- Barr, V.; Stephenson, C. (2011). Bringing computational thinking to K-12: What is involved and what is the role of the computer science education community? *ACM Inroads*, 2(1), 48–54. <https://doi.org/10.1145/1929887.1929905>
- Bisquerra, R. (2004). Metodología de la investigación educativa (2ª ed.). La Muralla.
- Caamaño, A. (2018). Enseñar química en contexto: un recorrido por los proyectos de química en contexto desde la década de los 80 hasta la actualidad. *Educación química*, 29(1), 21–54. <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2018.1.63686>
- Campina-López, A.; Lorca-Marín, A. A.; De las Heras Pérez, M. A. (2024). Indagación, modelización y pensamiento computacional: Un análisis bibliométrico con el uso de Bibliometrix a través de Biblioshiny. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 21(1), 1102. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2024.v21.i1.1102
- Cruz Rinco, B. K.; García-Holgado, A.; García-Penabaz, F. J. (2025). Ambientes coeducativos STEM que combinan Robótica Educativa y Pensamiento Computacional. *Campus Virtuales*, 14(1), 215–241. <https://doi.org/10.54988/cv.2025.1.1599>
- Doménech-Casal J.; Lope S.; Mora L. (2019). Qué proyectos STEM diseña y qué dificultades expresa el profesorado de secundaria sobre el Aprendizaje Basado en Proyectos. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 16 (2), 2203. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2019.v16.i2.2203
- Essinger, S. D.; Rosen, G. L. (2011). An introduction to machine learning for students in secondary education. In 2011 Digital Signal Processing and Signal Processing Education Meeting (DSP/SPE) (pp. 243–248). IEEE. <https://doi.org/10.1109/DSP-SPE.2011.5739219>
- George, D.; Mallery, P. (2003). *SPSS for Windows step by step: A simple guide and reference* (4th ed.). Boston, MA: Allyn & Bacon.
- González Fernández, M. O.; Flores González, Y. A.; Muñoz López, C. (2021). Panorama de la robótica educativa a favor del aprendizaje STEAM. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 18(2), 2301. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2021.v18.i2.2301
- de Freitas, A. A.; Weingart, T. B. (2021). I'm going to learn what? Teaching artificial intelligence to freshmen in an introductory computer science course. In *Proceedings of the 52nd ACM Technical Symposium on Computer Science Education* (pp. 198–204). Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/3408877.3432530>
- Freeman, S.; Eddy, S.; McDonough, M.; Smith, M.; Okoroafor, N.; Jordt, H.; Wenderoth, M. (2014). Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(23), 8410–8415. <https://doi.org/10.1073/pnas.1319030111>
- Fussero, G. B.; Ocelli, M.; Chiarani, M. (2021). Computational Thinking and Genetic Engineering learning: An Approach from Design Research. *Revista Iberoamericana de Tecnología en Educación y Educación en Tecnología*, 30, 40–50. <https://www.scielo.org.ar/pdf/ritet/n30/n30a05.pdf>
- Gobierno de España. (2022a). Real Decreto 157/2022, de 1 de marzo, por el que se establece la ordenación y las enseñanzas mínimas de la Educación Primaria. *Boletín Oficial del Estado*, 52, 32623–32752. <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2022-3296>
- Gobierno de España. (2022b). Real Decreto 217/2022, de 29 de marzo, por el que se establece la ordenación y las enseñanzas mínimas de la Educación Secundaria Obligatoria. *Boletín Oficial del Estado*, 76, 41571–41733. <https://www.boe.es/eli/es/rd/2022/03/29/217>
- Hernández-Cuevas, B. Y.; Levis, M.; Junkins, W.; Crawford, C. S.; Denham, A.; Luo, F. (2025). PhysioML: A web-based tool for machine learning education with real-time physiological data. In *Proceedings of the 56th ACM Technical Symposium on Computer Science Education V. 1 (SIGCSE TS 2025)* (pp. 485–491). Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/3641554.3701815>
- Kandhofer, M.; Steinbauer, G.; Laßnig, J. P.; Baumann, W.; Plomer, S.; Ballagi, A.; Alfoldi, I. (2019). Enabling the creation of intelligent things: Bringing artificial intelligence and robotics to schools. In 2019 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE) (pp. 1–5). IEEE. <https://doi.org/10.1109/FIE43999.2019.9028537>
- Katuka, G. A.; Li, Y.; Tai, J.; Lynch, C. (2023). A summer camp experience to engage middle school learners in AI through conversational app development. In *Proceedings of the 54th ACM Technical Symposium on Computer Science Education, V. 1* (pp. 813–819). Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/3545945.3569864>

- Kilpatrick, W.E. (1918). *The Project Method: the use of the purposeful act in the educative process*. Teachers college, Columbia University.
- Lane, D. (2021). *Machine Learning for Kids: A Project-Based Introduction to Artificial Intelligence*. No Starch Press.
- Liu, M.; Wang, H.; Guo, Y.; Hong, J. (2016). Identifying and analyzing the privacy of apps for kids. *Proceedings of the 17th International Workshop on Mobile Computing Systems and Applications (HotMobile '16)*, 105–110. ACM. <https://doi.org/10.1145/2873587.2873597>
- Martínez-Murciano, M. C.; Pérez-Jorge, D. (2024). Computational thinking with Scratch or App Inventor in primary education. *Campus Virtuales*, 13(2), 107–122. <https://doi.org/10.54988/cv.2024.2.1364>
- McHugh, M. L. (2012). Interrater reliability: the kappa statistic. *Biochemia Medica*, 22(3), 276–282. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3900052/>
- Meng, X.; Li, S.; Malik, M.M.; Umer, Q. (2022). Machine-Learning-Based Suitability Prediction for Mobile Applications for Kids. *Sustainability*, 14, 12400. <https://doi.org/10.3390/su141912400>
- National Research Council (2012). Report of a workshop on the pedagogical aspects of computational thinking. The National Academies Press. <https://nap.nationalacademies.org/catalog/13170/report-of-a-workshop-on-the-pedagogical-aspects-of-computational-thinking>
- Quigley, C.F.; Herro, D.; King, E.; Plank, H. (2020) STEAM Designed and Enacted: Understanding the Process of Design and Implementation of STEAM Curriculum in an Elementary School. *Journal of Science Education and Technology*. <https://doi.org/10.1007/s10956-020-09832-w>
- Rani, S.; Bhambri, P.; Chauhan, M. (2021). A machine learning model for kids' behavior analysis from facial emotions using principal component analysis. In *2021 5th Asian Conference on Artificial Intelligence Technology (ACAIT)* (pp. 522–525). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ACAIT53529.2021.9731203>
- Roldán-Segura, C.; Perales-Palacios, F. J.; Ruiz-Granados, B.; Moral-Santaella, C.; de la Torre, A. (2018). Enseñando a programar por ordenador en la resolución de problemas de Física de Bachillerato. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 15(1), 1301. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2018.v15.i1.1301
- Sakulkueakulsuk, B.; et al. (2018). Kids making AI: Integrating machine learning, gamification, and social context in STEM education. In *2018 IEEE International Conference on Teaching, Assessment, and Learning for Engineering (TALE)* (pp. 1005–1010). IEEE. <https://doi.org/10.1109/TALE.2018.8615249>
- Shamir, G.; Levin, I. (2021). Neural network construction practices in elementary school. *KI-Kunstliche Intelligenz*, 35(2), 181–189. <https://doi.org/10.1007/s13218-021-00729-3>
- Thun, L.J.; Teh, P.L.; Cheng, C.B. (2022). CyberAid: Are your children safe from cyberbullying? *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*, 34, 4099–4108. <https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2021.03.001>
- Touretzky, D. S.; Gardner-McCune, C.; Martin, F.; Seehorn, D. (2019). Envisioning AI for K-12: What Should Every Child Know About AI? *Proceedings of the Thirty-Third AAAI Conference on Artificial Intelligence*. Association for the Advancement of Artificial Intelligence. <https://doi.org/10.1609/aaai.v33i01.33019795>
- Vartiainen, H.; Tedre, M.; Valtonen, T. (2020). Learning machine learning with very young children: Who is teaching whom? *International Journal of Child-Computer Interaction*, 25, 100182. <https://doi.org/10.1016/j.ijcci.2020.100182>
- Wing, J. M. (2006). Computational thinking. *Communications of the ACM*, 49(3), 33–35. <https://doi.org/10.1145/1118178.1118215>
- Yim, I. H. Y.; Su, J. (2025). Artificial intelligence literacy education in primary schools: A review. *International Journal of Technology and Design Education*. <https://doi.org/10.1007/s10798-025-09979-w>
- Zhao, Y.; Wang, L. (2022). A case study of student development across project-based learning units in middle school chemistry. *Disciplinary and Interdisciplinary Science Education Research*. 4, 5. <https://doi.org/10.1186/s43031-021-00045-8>
- Zhou, X.; Gong, Y.; Zhou, Y.; Jiang, Y.; Bai, Z. (2025). Co-design of analogical and embodied representations with children for child-centered AI learning experiences. *International Journal of Human-Computer Studies*, 199, 103462. <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2025.103462>