LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL GENERATIVA EN CENTROS EDUCATIVOS: PREPARACIÓN INSTITUCIONAL Y COMPETENCIAS DIGITALES EN ICILS 2023

Christopher Neilson
Yale University (USA)

Ignacio Lepe
ConsiliumBots y Universidad de Chile (Chile)

Resumen

Este estudio analiza la preparación institucional de escuelas para adoptar inteligencia artificial generativa (IAGen), usando datos de ICILS 2023. Frente a la escasa evidencia sobre su adopción a nivel escolar, proponemos una medición novedosa aplicando un análisis de componentes principales (ACP), el que identifica tres dimensiones clave: expectativas positivas, percepción de riesgos e institucionalización del uso de IAGen. Se observan brechas socioeconómicas consistentes entre países: las escuelas más vulnerables están menos preparadas para adoptar IAGen, lo que podría acentuar desigualdades educativas si esta tecnología mejora la productividad. Además, mostramos que existe una asociación estadística positiva entre el nivel de preparación institucional medido por estas dimensiones y las competencias digitales de los estudiantes. Nuestra principal contribución es una métrica replicable para estudios comparativos y monitoreo, destacando al mismo tiempo la importancia de políticas educativas focalizadas en la equidad tecnológica.

Palabras clave: inteligencia artificial, tecnologías educativas, competencias digitales.

Abstract

This study analyzes schools' institutional readiness to adopt generative artificial intelligence (GenAI), using data from ICILS 2023. Given the limited empirical evidence on its adoption in schools, we propose a novel measurement approach using principal component analysis (PCA) that identifies three key dimensions: positive expectations, perceived risks, and institutionalization of GenAI use. We observe consistent socioeconomic gaps across countries: schools serving more vulnerable students are systematically less prepared to adopt GAI, which could exacerbate educational inequalities if the technology improves productivity. We also find a positive statistical association between institutional readiness and students' digital competencies. Our main contribution is a replicable metric for comparative research and monitoring, while also underscoring the importance of education policies focused on technological equity.

Keywords: artificial intelligence, educational technologies, digital competencies.

JEL classification: C38, D60, I21, I28, O30.

I. INTRODUCCIÓN

La irrupción reciente de tecnologías basadas en inteligencia artificial generativa (IAGen) han impulsado una transformación profunda en distintos sectores económicos y sociales. Herramientas como ChatGPT permiten interacciones en lenguaje natural mediante interfaces conversacionales o chatbots, facilitando tareas complejas como la generación de contenidos, el análisis automatizado de datos y la asistencia personalizada. Según el reporte *State of AI* de McKinsey (2023), estas tecnologías no solo ofrecen ganancias en eficiencia operativa y productividad, sino que pueden redefinir procesos empresariales completos.

En educación, la IAGen posee un potencial significativo debido a su capacidad para personalizar

el aprendizaje y proporcionar retroalimentación adaptativa en tiempo real. Si bien esta tecnología es reciente, su promesa se fundamenta en hallazgos previos sobre el impacto de plataformas de aprendizaje adaptativo (Ganimian y Murnane, 2016; Muralidharan *et al.,* 2019), que mostraron mejoras sustantivas en el aprendizaje cuando el contenido se ajusta al nivel y progreso del estudiante. Entre otros beneficios identificados destacan el apoyo directo a la enseñanza (Moundridou *et al.*, 2024), la facilitación de la retroalimentación automatizada (Kinder *et al.*, 2025) y el fomento de habilidades digitales críticas para el futuro del trabajo (Ng *et al.*, 2025). Estas capacidades podrían implicar mejoras significativas en productividad docente y eficiencia en la gestión educativa (McKinsey, 2023; Miao y Holmes, 2024; OECD, 2023).

Sin embargo, estas tecnologías también generan preocupaciones relacionadas con su adopción masiva en educación. Varios estudios y organizaciones internacionales han advertido sobre los riesgos asociados al uso excesivo o inapropiado de IAGen, incluyendo reducción del esfuerzo cognitivo, generación de dependencia tecnológica y posible deterioro en habilidades fundamentales como el pensamiento crítico (Lee *et al.*, 2025). Asimismo, existen consideraciones éticas sustanciales, como sesgos algorítmicos, riesgos de plagio académico, infracciones a la propiedad intelectual, privacidad de datos y desafíos de ciberseguridad (Arias Ortiz *et al.*, 2025; McKinsey, 2023).

A pesar del potencial transformador de estas tecnologías, la evidencia indica que los sistemas educativos han tendido históricamente a una adopción relativamente lenta y desigual de innovaciones tecnológicas emergentes (OECD, 2021). Esta brecha, entre el ritmo acelerado del desarrollo tecnológico y la capacidad institucional para integrarlas eficazmente, plantea un desafío central: garantizar que estudiantes y docentes adquieran competencias necesarias para interactuar críticamente con la IAGen, comprendiendo plenamente sus limitaciones, riesgos y posibilidades.

Actualmente, la investigación empírica específica sobre la adopción a nivel institucional en contextos educativos es escasa. Aunque existe una creciente literatura sobre aplicaciones generales de la IAGen en sectores productivos y empresariales, la comprensión sobre cómo se adopta específicamente en centros escolares permanece limitada. Hasta ahora, no existían datos internacionales a gran escala que permitieran comprender cómo las instituciones educativas están respondiendo a la emergencia de la IAGen. En este sentido, el *Estudio Internacional sobre Alfabetización en Computación y Tecnologías de la Información (ICILS,* por sus siglas en inglés) 2023 marca un hito al ser la primera evaluación internacional que incluye un módulo específico sobre IAGen en cuestionarios dirigidos a directivos escolares. Esta evaluación recopiló respuestas de más de 20.000 directivos escolares apenas meses después de la popularización de ChatGPT, lo que proporciona una visión única y en tiempo real de cómo las instituciones educativas están reaccionando ante esta nueva tecnología.

Para analizar los cuestionarios a directores de centros educativos utilizamos el análisis de componentes principales (ACP), una técnica estadística que permite reducir la dimensionalidad de grandes conjuntos de variables. En este caso, aplicamos el ACP para identificar patrones en las respuestas a directores en relación con el uso, percepciones y marcos normativos actuales, lo que denominamos preparación institucional hacia la IAGen. El ACP permitió identificar empíricamente tres dimensiones: expectativas positivas de uso, percepción de riesgos e institucionalización formal. El primer componente refleja una visión pedagógica optimista hacia la IAGen; el segundo, una valoración crítica respecto de sus potenciales riesgos; y el tercero, el grado en que estas herramientas están integradas formalmente en políticas y orientaciones institucionales.

Además de facilitar una caracterización estructurada de la preparación institucional de la IAGen, nuestro análisis revela brechas socioeconómicas sistemáticas a nivel de centro educativo. En particular, los centros educativos que atienden a estudiantes de menor nivel socioeconómico tienden a reportar menores niveles de institucionalización, actitudes menos favorables hacia el uso pedagógico de la inteligencia artificial (IA) y una percepción menos crítica sobre sus riesgos. Asimismo, los com-

ponentes fueron utilizados como predictores en modelos de regresión, con términos lineales y cuadráticos, para capturar posibles relaciones no lineales entre la preparación institucional y los resultados en pensamiento computacional (CT) y alfabetización digital (CIL). Los hallazgos revelan asociaciones diferenciadas: CT se vincula positivamente con un uso institucional activo de la IAGen, mientras que CIL muestra mayor sensibilidad a contextos que reconocen sus riesgos y desafíos. Este patrón sugiere que una preparación institucional desequilibrada puede limitar el impacto pedagógico de la IAGen, afectando con mayor fuerza a los estudiantes más vulnerables y profundizando las brechas digitales preexistentes.

Finalmente, es importante enfatizar que nuestro análisis es exploratorio y descriptivo, con el objetivo principal de identificar asociaciones institucionales y patrones emergentes, sin pretender establecer relaciones causales. Al proveer un registro histórico de cómo los sistemas educativos están reaccionando en tiempo real al surgimiento de tecnologías disruptivas, nuestro estudio no solo establece un punto de referencia actual, sino que además permite futuras comparaciones longitudinales para evaluar cómo evolucionan estas respuestas institucionales a nivel internacional.

II. DATOS

Este estudio utiliza los datos del *Estudio Internacional sobre Alfabetización en Computación y Tecnologías de la Información (ICILS)* 2023, desarrollado por la International Association for the Evaluation of Educational Achievement – IEA (https://www.iea.nl/studies/iea/icils). Esta fuente ofrece una base de datos comparativa de alta calidad que permite analizar cómo distintos sistemas educativos promueven el desarrollo de competencias digitales entre los estudiantes de 8.º grado. En particular, se consideran dos competencias:

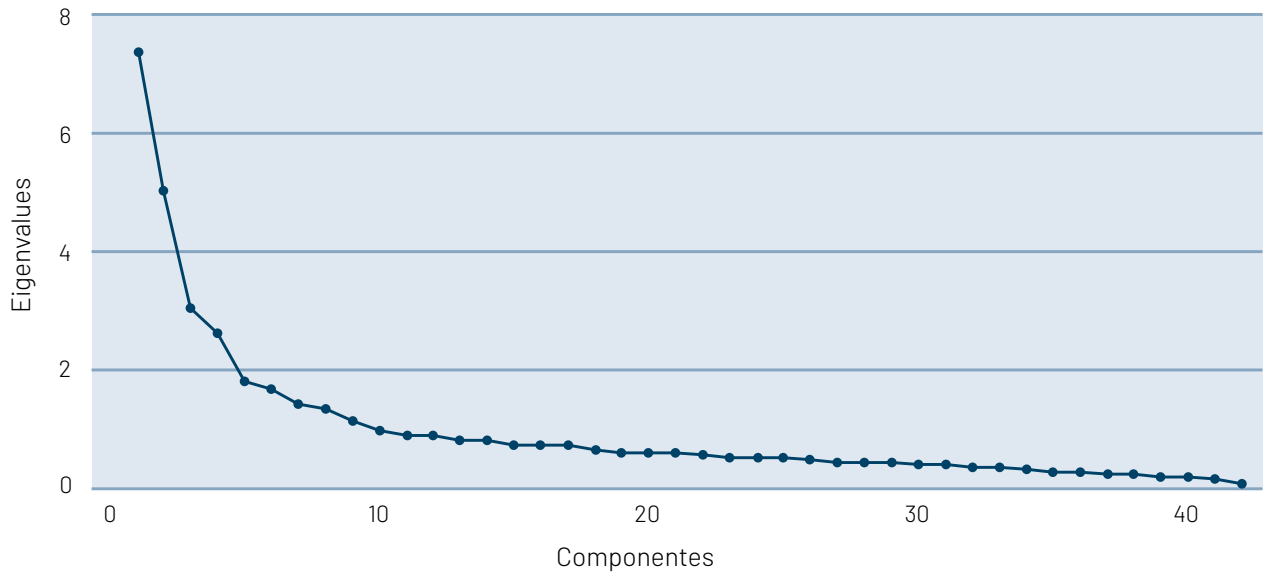
- Alfabetización computacional (CIL), que mide la capacidad en el uso de computadoras para buscar, gestionar, evaluar, crear y comunicar información de manera efectiva en entornos digitales, y manejo de información, y;
- Pensamiento computacional (CT), que evalúa habilidades para resolver problemas mediante procesos lógicos, el diseño de algoritmos y nociones básicas de programación.

ICILS 2023 abarcó a 34 países (o 35 sistemas educativos), con participación de aproximadamente 5.300 escuelas, 132.600 estudiantes en la evaluación de CIL, y 85.200 estudiantes en CT, además de cerca de 61.000 docentes. Junto con las pruebas cognitivas, se aplicaron cuestionarios contextuales dirigidos a estudiantes, docentes, directores y personal técnico. En esta edición, destaca la incorporación por primera vez de un módulo específico en el cuestionario directivo sobre percepciones, usos y lineamientos institucionales respecto a herramientas de IAGen, tales como ChatGPT. Este módulo fue respondido por más de 20.000 directores de secundaria en quice países, constituyendo uno de los primeros instrumentos comparables a nivel internacional sobre el tema.

Para este estudio, se integraron los registros del cuestionario estudiantil con la información institucional reportada por los directores, obteniéndose una muestra consolidada de 37.843 estudiantes provenientes de múltiples países participantes. Debido a restricciones específicas del diseño del estudio ICILS 2023, no fue posible vincular esta información con los cuestionarios de docentes. Adicionalmente, se excluyeron todas las observaciones correspondientes a Chile, dado que dicho país no cuenta con datos disponibles en la base estudiantil (Fraillon y Rožman, 2024).

El proceso de tratamiento incluyó una limpieza sistemática que contempló la recodificación de respuestas inválidas o ausentes, frecuentemente codificadas con valores ≥ 8 como valores faltantes reales. Adicionalmente, se aplicaron ajustes de codificación orientados a garantizar la coherencia direccional de las escalas utilizadas en la evaluación de percepciones, asegurando su adecuada interpretación comparativa. Finalmente, la muestra efectiva quedó compuesta por estudiantes de 20.956 escuelas con información institucional válida, constituyendo el universo analizado en esta investigación.

GRÁFICO 1
***SCREEPLOT* DEL ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES: VARIANZA EXPLICADA POR COMPONENTE**



III. MEDICIÓN DE LA PREPARACIÓN INSTITUCIONAL PARA LA IAgen

1. Análisis de componentes principales (ACP)

Se aplicó el análisis de componentes principales (ACP) sobre 44 ítems del cuestionario de directivos escolares del estudio ICILS 2023, los que abordan percepciones sobre el uso actual de herramientas de (IAGen) en docentes y estudiantes, así como la existencia de políticas, lineamientos y orientaciones institucionales. Esta técnica permite sintetizar un número elevado de variables sin imponer supuestos estructurales, generando componentes ortogonales que explican la máxima varianza posible del conjunto original, lo que resulta especialmente útil para su uso posterior como predictores en modelos multivariados.

En una primera etapa, se aplicó un ACP sin restricciones para observar la distribución de la varianza explicada. El *screeplot* (gráfico 1) muestra un punto claro de inflexión a partir del cuarto componente, lo que sugiere que una solución de tres o cuatro dimensiones concentra la mayor parte de la información sin afectar la parsimonia del modelo. Siguiendo esta evidencia empírica y el criterio de Kaiser (eigenvalor ≥ 1), se retuvieron tres componentes principales, que explican en conjunto el 79,2 por 100 de la varianza total.

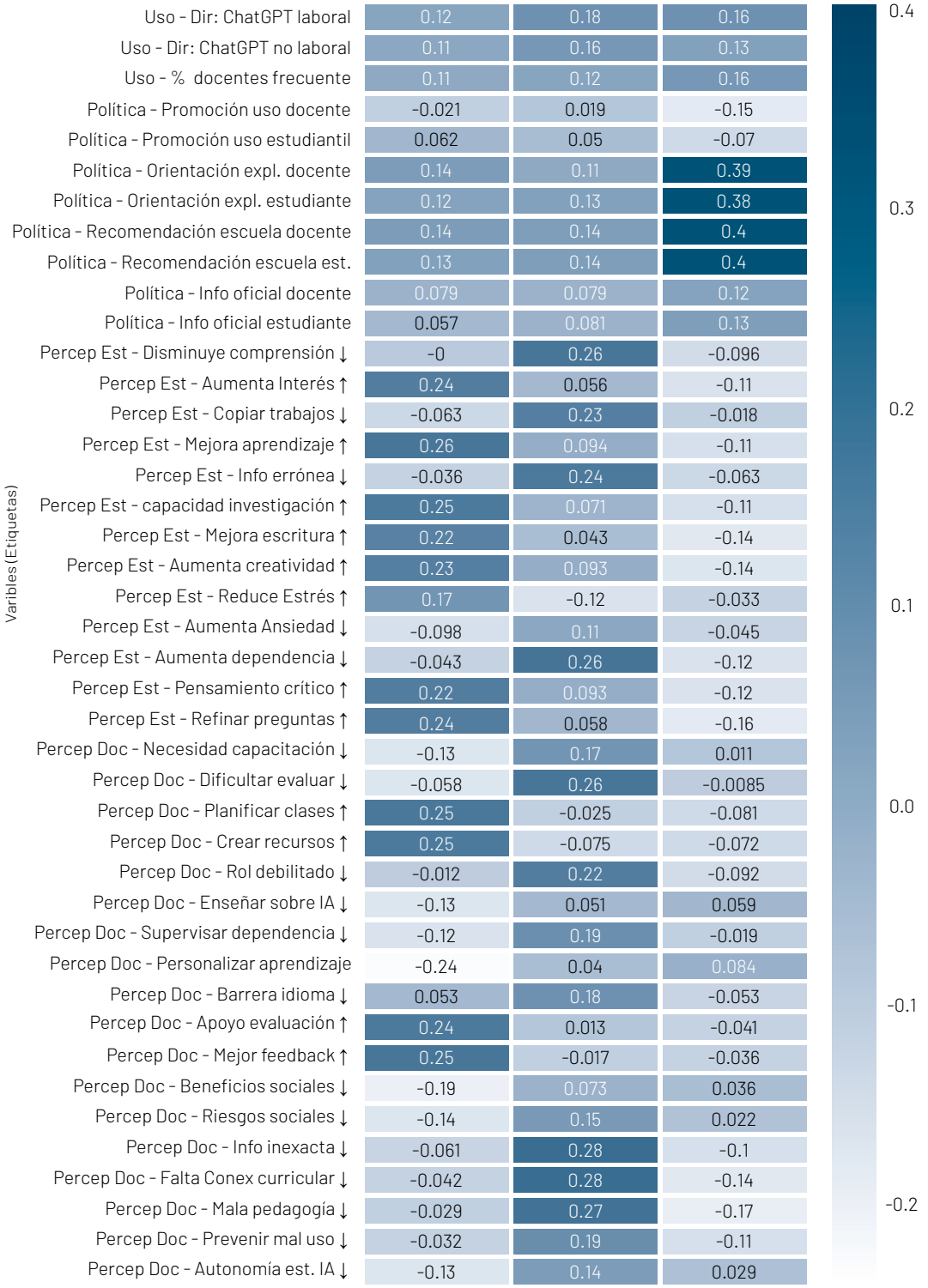
En función de lo anterior, se estimó nuevamente el modelo bajo la restricción de retener tres componentes principales. Esta decisión permite concentrar la mayor proporción de varianza explicada con un número reducido de dimensiones, optimizando el equilibrio entre simplicidad y capacidad descriptiva del modelo.

El gráfico 2 presenta un mapa de calor con las principales cargas factoriales estandarizadas de los 44 ítems analizados, distribuidos según su contribución relativa a cada uno de los tres componentes extraídos. Las tonalidades más intensas indican una mayor carga en el componente correspondiente, lo que facilita la interpretación sustantiva de las dimensiones resultantes. Como se aprecia, los patrones de agrupamiento permiten distinguir con claridad tres dimensiones: expectativas positivas (Comp 1), percepciones de riesgo institucional (Comp 2) y nivel de institucionalización formal (Comp 3) del uso de IAGen en centros educativos.

GRÁFICO 2

MAPA DE CALOR DE CARGAS FACTORIALES ESTANDARIZADAS DE LAS VARIABLES EN LOS TRES PRIMEROS COMPONENTES PRINCIPALES (ACP)

Mapa de calor-ACP (con etiquetas y sentido de valoración)



A continuación, se describen las principales características de estas dimensiones:

a) *Componente 1 - Expectativas positivas de uso de IAGen.* El primer componente concentra cargas elevadas en variables que reflejan beneficios pedagógicos esperados del uso de la IAGen, tales como la mejora del aprendizaje, el desarrollo de habilidades en estudiantes y el aumento de la productividad docente. Este componente es interpretado como una dimensión que sintetiza expectativas positivas hacia el uso de la IAGen en contextos escolares. Por ejemplo, sobresalen cargas altas en afirmaciones como "mejora del aprendizaje" (0,2587), "capacidad de investigación" (0,2479), "refinamiento de preguntas" (0,2371), "aumento del interés estudiantil" (0,2361) y "mejora del pensamiento crítico" (0,2166). Asimismo, el componente agrupa elementos vinculados a actividades cotidianas de los docentes, como la planificación, retroalimentación y evaluación, lo que sugiere que estas herramientas son percibidas como un recurso que podría facilitar la labor diaria del profesorado. De este modo, esta dimensión refleja el grado en que la institución visualiza esta tecnología como aliada del proceso educativo.

b) *Componente 2 - Riesgos percibidos de la IAGen.* El segundo componente agrupa variables relacionadas con posibles riesgos o efectos no deseados del uso de la IAGen, incluyendo la pérdida de comprensión, el aumento del plagio y la desinformación, por lo que se interpreta como una dimensión de percepción de riesgo. Destacan percepciones como "reduce la comprensión" (0.2600), "induce a copiar trabajos" (0,2280), "entrega información errónea" (0,2442) y "aumenta la dependencia tecnológica" (0,2617). También están presentes desafíos institucionales que afectan el trabajo docente, como la "dificultad para evaluar" (0,2583) o la "falta de conexión curricular" (0,2835). Así, este componente representa una dimensión de riesgo institucional percibido frente al uso de IA.

c) *Componente 3 - Institucionalización de la IAGen.* Este componente agrupa principalmente variables que capturan la existencia de políticas, normativas, recomendaciones y orientaciones explícitas sobre el uso de la IAGen en los distintos niveles del sistema escolar. Este componente es interpretado como una dimensión de institucionalización de la IAGen en el contexto escolar, destacando cargas altas en variables como "orientaciones para docentes" (0,3894), "recomendaciones escolares" (0,4007) y "reglas para estudiantes" (0,3806). Aunque explica una menor proporción de la varianza, esta dimensión permite identificar el grado de institucionalización formal que están realizando los sistemas educativos frente a la IAGen.

En síntesis, los tres componentes utilizados representan dimensiones conceptualmente distintas de la preparación institucional:

- Expectativas positivas de uso de la IAGen, que refleja, de acuerdo con los directores de centros educativos, una actitud favorable dentro de las escuelas hacia el uso pedagógico de herramientas basadas en IAGen, tanto por parte de docentes como de estudiantes.

- Percepción de riesgos, que agrupa las preocupaciones institucionales respecto a los potenciales efectos negativos del uso de la IAGen en el contexto escolar, incluyendo riesgos pedagógicos, éticos o sociales.

- Institucionalización, que representa el grado de formalización de las prácticas asociadas a la IAGen, evaluado a partir de la presencia de políticas, directrices o lineamientos oficiales promovidos en cuanto al centro o sistema educativos.

2. Diferencia entre países en la preparación institucional para la IAGen

Con el objetivo de explorar la heterogeneidad en la preparación institucional hacia la IAGen, se comparan los puntajes promedio de los tres componentes principales entre países. El cuadro n.º 1 presenta estadísticas descriptivas de los tres componentes principales. En general, los resultados evidencian variaciones significativas en la preparación institucional para la adopción de la IAGen en los sistemas escolares.

CUADRO N.º 1

ESTADÍSTICAS DE LOS COMPONENTES POR PAÍS

	Expectativas positivas			Riesgos percibidos			Institucionalización		
	Media	Mediana	Desv.	Media	Mediana	Desv.	Media	Mediana	Desv.
Eslovenia	-2.03	-2,09	1,88	-1,16	-0,71	2,34	-0,85	-1,30	1,55
Dinamarca	-1,59	-1,21	2,23	-0,24	-0,04	1,56	-0,07	-0,53	1,78
Suecia	-1,49	-1,01	3,51	0,73	0,53	1,93	-0,25	-0,57	1,92
Rep. Eslovaca	-1,27	-1,08	2,12	-0,17	-0,13	2,10	0,05	0,12	1,55
Uruguay	-0,49	-0,03	2,55	-0,26	-0,32	2,67	-0,55	-0,86	2,10
Rumanía	-0,17	-0,46	2,85	-0,74	-0,83	2,30	0,19	0,05	1,46
Noruega	-0,05	0,42	2,37	1,26	1,53	1,52	0,21	-0,29	2,22
Corea del Sur	0,19	0,21	2,27	0,25	0,11	2,10	0,05	-0,07	1,70
Taiwán	0,67	0,76	2,42	0,40	0,41	1,94	0,26	0,14	1,62
Grecia	1,16	1,36	2,57	0,53	0,73	2,34	-0,85	-1,30	1,55
Chipre	2,01	2,60	2,70	-0,94	-0,93	2,32	-0,06	-0,06	1,79

Notas: Cada componente se define según la descomposición de componentes principales (ACP) descrita anteriormente. Estadísticas computadas a nivel de escuela para cada país.

Fuente: Elaboración propia.

Respecto a la dimensión de expectativas positivas, Chipre y Grecia exhiben niveles considerablemente más altos que otros, reflejando una actitud institucional favorable hacia el uso pedagógico de estas tecnologías. En contraste, países como Eslovenia y Dinamarca presentan valores negativos, lo que sugiere un posicionamiento más distante o escéptico. En relación con la percepción de riesgos, los niveles más altos se observan en países del norte de Europa, como Noruega y Suecia, lo que podría interpretarse como una mayor conciencia crítica sobre los posibles efectos adversos de estas herramientas. En otros contextos, como en el sur y este de Europa, estas preocupaciones aparecen menos presentes. En cuanto a la institucionalización, la mayoría de los países muestra una distribución más equilibrada, aunque se identifican casos con mayor nivel de formalización normativa, como Uruguay y Rumania, en contraste con otros donde esta dimensión aparece menos desarrollada.

Estos patrones permiten distinguir perfiles institucionales diferenciados, los cuales pueden tener implicaciones relevantes para el diseño de estrategias de acompañamiento, regulación y formación frente a la adopción de tecnologías emergentes en los sistemas educativos.

3. Desigualdades socioeconómicas en la preparación institucional para la IAGen

Esta sección examina cómo las brechas socioeconómicas se manifiestan en la preparación institucional de los centros educativos para la adopción de inteligencia artificial generativa (IAGen). Para esto, se analizan diferencias entre estudiantes, respecto del centro educativo, pertenecientes al decil socioeconómico superior y aquellos ubicados en el 40 por 100 más bajo, considerando las tres dimensiones en estudio: expectativas positivas, percepción de riesgos e institucionalización de la IAGen.

El cuadro n.º 2 resume estas brechas por país, que utilizan como medida el *International Socio-Economic Index- ISEI* (Ganzeboom *et al.*, 1992), un índice estandarizado basado en la ocupación parental. Los gráficos 3, 4 y 5 ilustran visualmente cómo varía esta desigualdad según cada componente, revelando patrones sistemáticos de inequidad tanto entre como dentro de los países.

CUADRO N.º 2

ESTADÍSTICAS DE LA BRECHA SOCIOECONÓMICA EN LOS COMPONENTES POR PAÍS

	Expectativas positivas		Riesgos percibidos		Institucionalización	
	Media	Mediana	Media	Mediana	Media	Mediana
Rumanía	-1,03	-0,96	-0,74	1,64	0,62	0,28
Uruguay	-0,89	0,06	0,74	0,34	0,42	0,37
Chipre	-0,46	-0,72	0,36	0,58	0,12	0,25
Suecia	-0,33	0,00	0,64	0,54	0,03	-0,05
Taiwán	-0,27	-0,17	0,47	0,47	0,17	0,10
Corea del Sur	-0,11	0,00	-0,16	-0,12	0,13	0,14
Eslovenia	0,05	0,18	-0,11	0,00	0,11	0,20
Dinamarca	0,08	0,04	-0,07	-0,13	0,30	0,72
Grecia	0,37	0,43	0,53	0,73	-0,02	0,07
Noruega	0,40	0,00	0,02	0,00	0,37	0,55
Rep, Eslovaca	0,70	0,86	0,40	0,19	0,02	0,02

Notas: La brecha se define como la diferencia entre la media (o mediana) del componente para el decil 10 y la del grupo compuesto por los deciles 1, 2, 3 y 4. El orden de los países en cada panel se determina según la media de la brecha del componente.

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se describen las principales características de estas dimensiones en términos de las desigualdades socioeconómicas:

- *Expectativas positivas de uso de IAGen*. En el gráfico 3 se observa una variación significativa entre países. Por ejemplo, Grecia, Eslovaquia y Noruega muestran una percepción mucho más favorable entre los estudiantes de nivel socioeconómico alto, lo que puede sugerir barreras culturales o de acceso informativo entre los grupos de menor nivel socioeconómico (NSE). Por el contrario, en países como Rumanía, Uruguay y Chipre, los estudiantes de bajos recursos presentan una percepción más positiva que sus contrapartes de alto NSE, lo que podría interpretarse como una expectativa compensatoria o menor exposición crítica a los riesgos.

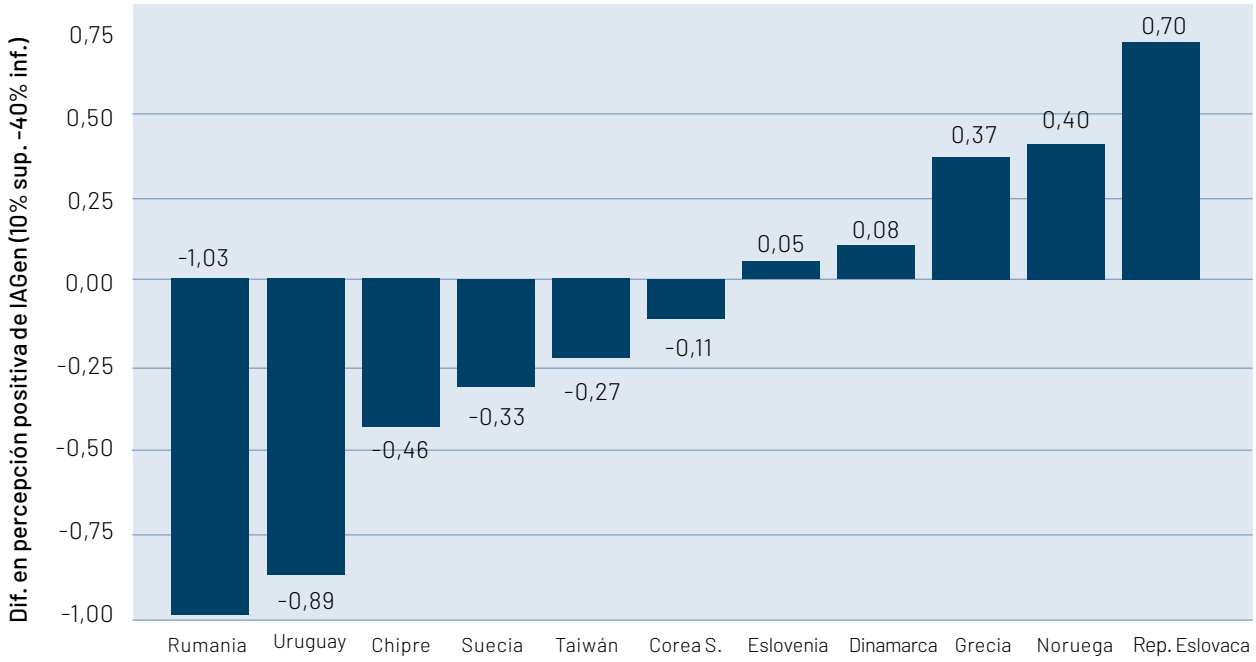
- *Riesgos percibidos de la IAGen.* En este componente, observamos que los estudiantes de mayor NSE tienden a ver más riesgos en el uso de IAGen, especialmente en países como Suecia, Grecia y Uruguay (gráfico 4). Esto sugiere que los estudiantes con más capital cultural y digital podrían tener una visión más crítica o reflexiva sobre los efectos de estas herramientas. Esto concuerda con uno de hallazgos del estudio, que indica que una percepción de riesgo moderada se asocia positivamente con alfabetización digital (ver en sección 4).

- *Institucionalización de la IAGen.* En el gráfico 5 se observan diferencias entre países en relación con la formalización explícita de políticas, recomendaciones u orientaciones institucionales del sistema para la IAGen. En la mayoría de los países analizados estas brechas favorecen sistemáticamente a los grupos de mayor NSE, lo que sugiere que la innovación educativa está siendo capturada principalmente por sectores privilegiados. Destacan Rumanía, Uruguay y Noruega como países donde los estudiantes de mayor NSE tienen mucho más acceso a contextos escolares que adoptan herramientas de IAGen, mientras que países como Grecia, Eslovaquia y Suecia muestran un grado de adaptación más equitativo.

Esto es importante dado que se puede ralentizar la convergencia internacional en el desarrollo de competencias digitales: los países que institucionalizan más rápida y profundamente el uso de IAGen,

GRÁFICO 3

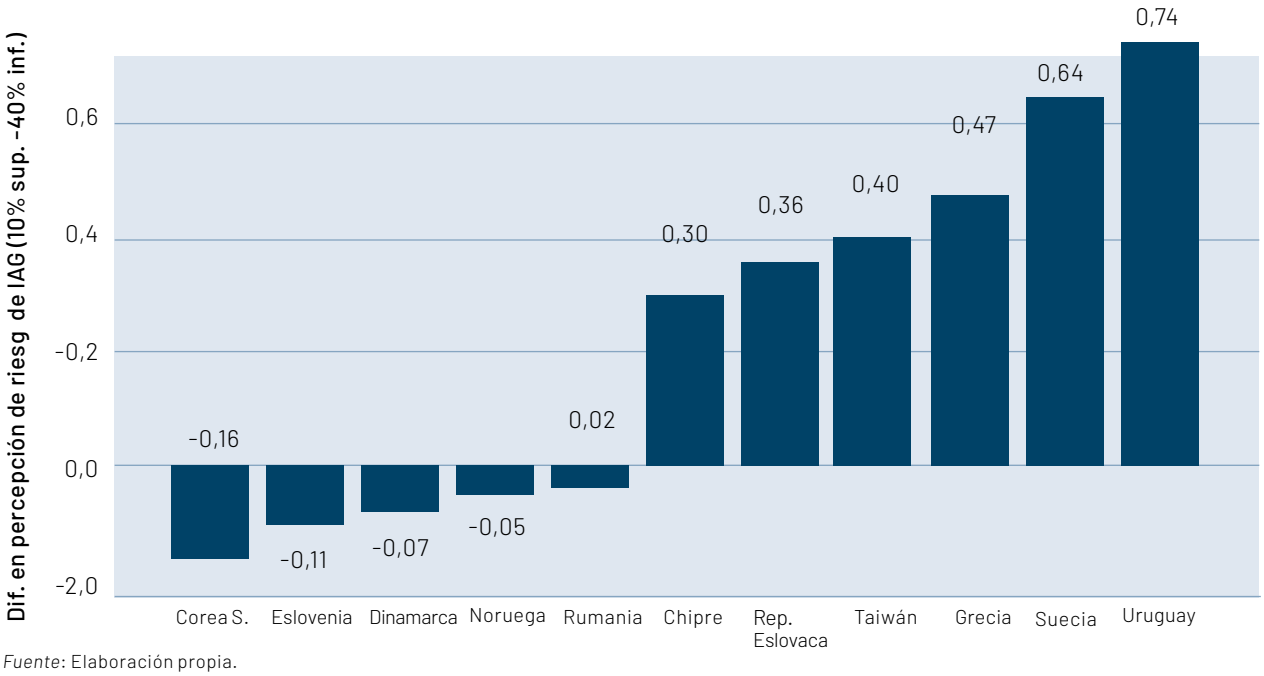
BRECHAS SOCIOECONÓMICAS EN PERCEPCIONES POSITIVAS SOBRE LA IAGen POR PAÍS



Fuente: Elaboración propia.

GRÁFICO 4

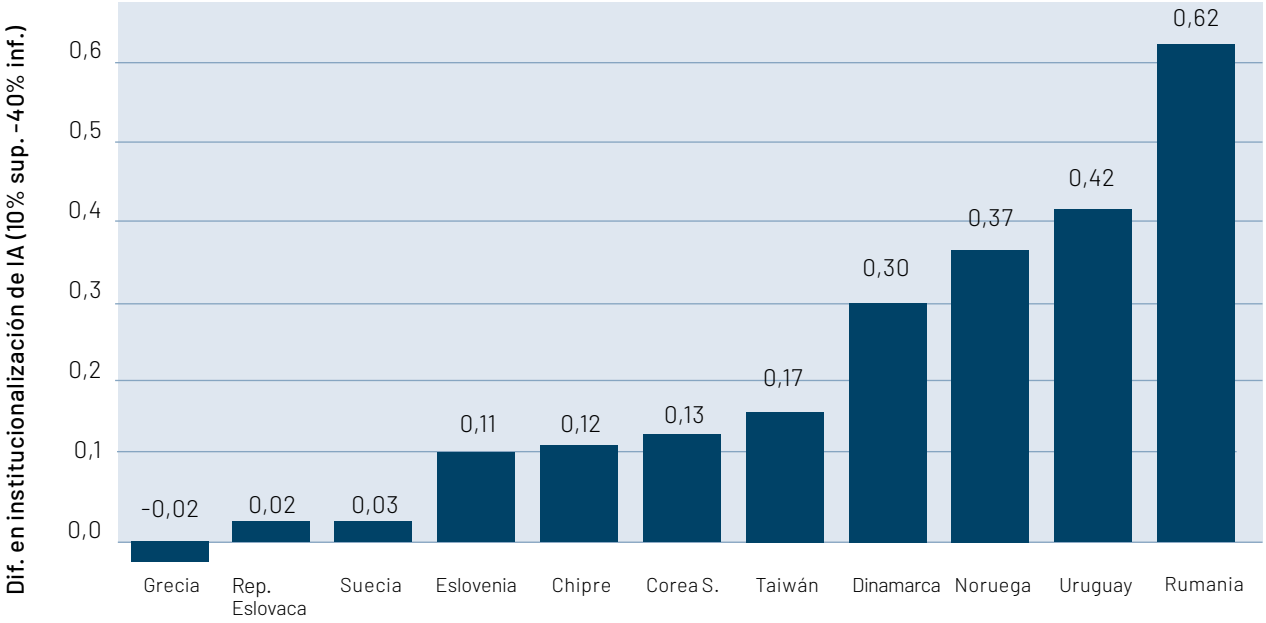
BRECHAS SOCIOECONÓMICAS EN PERCEPCIONES DE RIESGO SOBRE LA IAGen POR PAÍS



Fuente: Elaboración propia.

GRÁFICO 5

BRECHAS SOCIOECONÓMICAS EN INSTITUCIONALIZACIÓN DE LA IAGen POR PAÍS



Fuente: Elaboración propia.

pero solo entre ciertos grupos, corren el riesgo de profundizar las desigualdades internas. Al mismo tiempo, las brechas entre países también podrían ampliarse, ya que las naciones con menor institucionalización, o con una institucionalización segmentada, quedarán rezagadas en el desarrollo de habilidades clave para la economía digital. En suma, la falta de equidad en la adopción y preparación institucional de IAGen no solo reproduce desigualdades locales, sino que también limita el potencial de estas tecnologías para impulsar una transformación educativa más equitativa a nivel global.

IV. DIMENSIONES INSTITUCIONALES DE LA IAGen Y SU ASOCIACIÓN CON LAS COMPETENCIAS DIGITALES ESTUDIANTILES

1. Modelo de regresión

Para explorar la asociación entre las habilidades digitales de los estudiantes y la preparación institucional frente a la IAGen en los centros educativos, utilizamos los *scores* extraídos mediante el ACP como variables dependientes en un modelo de regresión, en donde la variable independiente será el puntaje obtenido por los estudiantes en Pensamiento computacional (CT) y alfabetización digital (CIL).

Para ello, se estima la siguiente regresión principal:

$$Puntaje_{isc} = \alpha + \beta_1 Positivo_s + \beta_2 Riesgo_s + \beta_3 Institucional_s + \gamma X_2 Riesgo_s + \delta_c + \epsilon_{isc}, \quad [1]$$

donde:

- *Puntaje estándarizado* representa el puntaje del estudiante *i*, en el centro educativo *s*, del país *c*, en pensamiento computacional (*CT*) o alfabetización digital (*CIL*).
- Positivos, Riesgos, Institucionals son puntajes estandarizados a nivel de centro educativo s en los componentes extraídos vía ACP.

- X_{is} son controles a nivel de estudiante y centro educativo.

- δ_c indica los efectos fijos por país.

- ϵ_{isc} es el término de error.

Los coeficientes β_1 , β_2, β_3 capturan el cambio esperado en el puntaje del estudiante en CT y CIL asociado a un aumento de una desviación estándar en cada uno de los componentes de preparación institucional. En particular:

- β_1 mide la asociación entre una percepción institucional favorable hacia el uso de la IAGen y los puntajes en CT y CIL.

- β_2 captura la relación de mayores niveles de preocupación institucional respecto a los riesgos de la IAGen y el rendimiento en las pruebas de CT y CIL.

- β_3 refleja la asociación entre la presencia de políticas institucionales explícitas sobre IA y el rendimiento de los estudiantes.

Adicionalmente, se estiman versiones adicionales del modelo que incluyen los términos cuadráticos de cada componente $Positivo_s^2$, $Riesgo_s^2$, $Institucional_s^2$ para capturar posibles relaciones no lineales y examinar la presencia de umbrales, saturaciones o rendimientos decrecientes en la preparación institucional frente a la IA.

2. Variables de control

Nuestro estudio incorpora un conjunto amplio de variables de control a nivel de estudiante y establecimiento. Estas variables permiten ajustar por diferencias relevantes en el entorno educativo y las características individuales de los estudiantes. En total, se construyeron variables *dummies* agrupadas en ocho dimensiones principales:

1. *Factores demográficos y socioeconómicos*: incluye el sexo del estudiante, condición migratoria, nivel educativo esperado (ISCED), cantidad de libros en el hogar y nivel educativo de los padres. Estas variables controlan por capital cultural y aspiraciones educativas familiares.
2. *Acceso y exposición a tecnologías*: mide la cantidad de años de experiencia en el uso de computadores, como indicador del grado de familiarización temprana con herramientas digitales.
3. *Uso general de tecnología*: captura la frecuencia de uso diario de tecnologías digitales fuera del contexto escolar, lo que permite distinguir entre exposición escolar y no escolar a las TIC.
4. *Experiencia en programación*: distingue entre experiencia previa en programación (visual o textual) y aquella adquirida específicamente en el contexto educativo formal.
5. *Autoeficacia en programación:* incluye una variable que refleja el nivel de confianza reportado por los estudiantes respecto a su capacidad para programar, ya sea en lenguaje visual, textual o entorno web.
6. *Actitudes hacia la programación*: considera el interés del estudiante, su percepción sobre la utilidad futura de estas habilidades, y su valoración general sobre la programación como herramienta educativa.
7. *Uso de TIC en clases:* recoge la frecuencia con que los estudiantes reportan el uso de tecnologías digitales en asignaturas principales, como lenguaje, matemáticas o ciencias.
8. *Tipo de herramientas digitales utilizadas en clase*: refleja la diversidad y frecuencia de uso de dispositivos y aplicaciones específicas durante actividades escolares, tales como *software* educativo, pizarras digitales o simuladores interactivos.
9. *Variables a nivel de centro educativo:* años de gestión TIC en centro educativo, nivel de vulnerabilidad, y contexto urbano.

Estas variables permiten capturar los factores individuales, familiares y escolares que inciden en el desarrollo de competencias digitales, asegurando una estimación más precisa del efecto de las dimensiones institucionales derivadas del ACP.

V. PATRONES DE PERCEPCIÓN Y USO DE IA EN CONTEXTOS ESCOLARES

1. Resultados descriptivos a nivel país

Esta sección examina la asociación entre los componentes de preparación institucional frente a la IAGen y el desempeño promedio por país en pensamiento computacional (CT) y alfabetización digital (CIL). Para ello, se calculan los promedios nacionales de cada uno de los tres componentes principales extraídos, y se correlacionan con los puntajes promedio nacionales en CT y CIL. Los gráficos 6 y 7 presentan gráficos de dispersión que permiten visualizar patrones generales de asociación entre estos componentes, utilizando el primer valor plausible.

El gráfico 6 muestra la relación entre los puntajes en CT y las tres dimensiones de preparación institucional. Se observa una asociación positiva entre el componente de uso positivo de la IAGen y el rendimiento en CT: países como Corea del Sur y Taiwán, que reportan actitudes institucionales favorables hacia el uso pedagógico de estas herramientas, registran también los puntajes más altos. En contraste, Eslovenia y Uruguay combinan bajas expectativas institucionales con menores niveles de CT. Sin embargo, en algunos países europeos, como Dinamarca o Noruega, esta relación es menos clara, lo que sugiere la influencia de factores contextuales adicionales.

En cuanto a la percepción de riesgos, la relación con CT es débil. Aunque países como Corea del Sur combinan una relativa baja preocupación institucional con buenos resultados, en general no se observa un patrón consistente que vincule mayor o menor percepción de riesgo con el rendimiento en esta área. Por el contrario, el componente de institucionalización de la IAGen muestra una relación moderadamente positiva con los resultados en CT. Países con mayor grado de formalización normativa tienden a mostrar mejores desempeños, lo que sugiere que orientaciones concretas y explícitas pueden facilitar condiciones propicias para el desarrollo del pensamiento computacional.

El gráfico 7 muestra las asociaciones entre los componentes de preparación institucional y los puntajes promedio en CIL. A diferencia de CT, el uso positivo de la IAGen no guarda una relación clara con los resultados en CIL, mostrando incluso una tendencia levemente negativa. Esto podría indicar que el entusiasmo institucional por la IAGen no necesariamente se traduce en una mejor alfabetización digital, especialmente si no va acompañado de una mediación crítica.

En cambio, la percepción de riesgos exhibe una asociación positiva con CIL. Esto sugiere que contextos institucionales donde se reconocen los desafíos de la IAGen pueden generar una cultura escolar más reflexiva y responsable en torno al uso de tecnologías, contribuyendo así al desarrollo de competencias digitales más profundas. Finalmente, el componente de institucionalización mantiene una asociación positiva también con CIL. Los países que reportan mayor lineamientos o recomendaciones sobre el uso de la IAGen tienden a presentar mejores resultados, lo que refuerza la idea de que el entorno institucional cumple un rol importante en la consolidación de habilidades digitales complejas.

En síntesis, el análisis comparativo indica lo que sigue:

a) *Expectativas positivas.* Se asocia positivamente con el rendimiento en CT, pero muestra una relación nula o levemente negativa con CIL. Esto indica que la promoción activa del uso de IA puede beneficiar el pensamiento computacional, pero no garantiza por sí sola una mejor alfabetización digital.

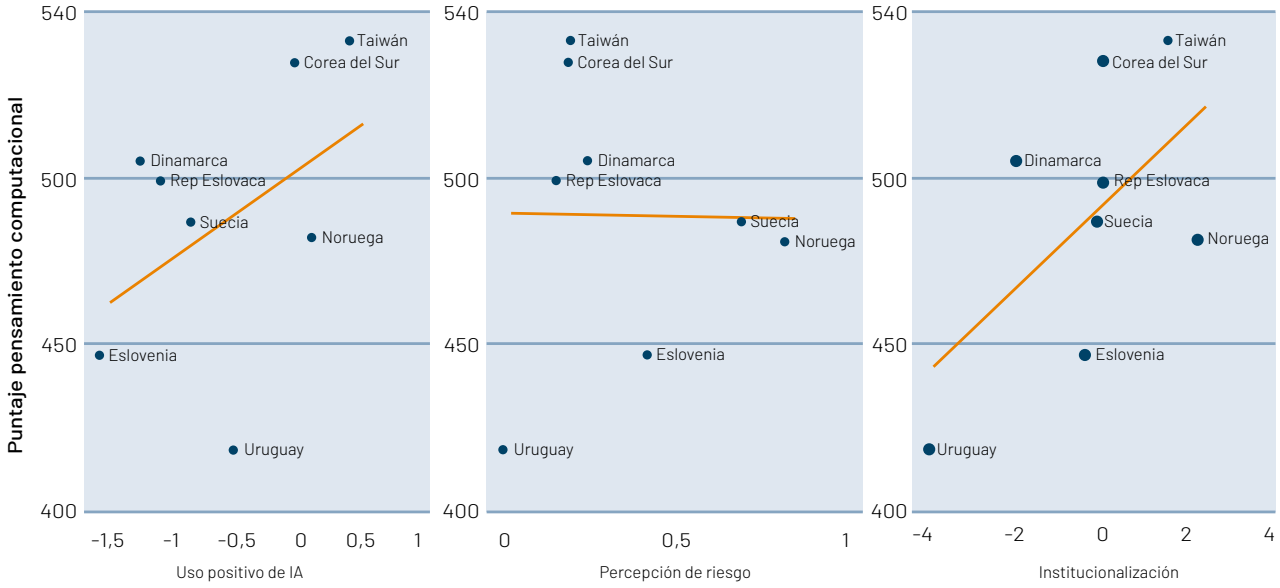
b) *Percepción de riesgo.* No se relaciona claramente con CT, pero sí se asocia positivamente con CIL. Una actitud institucional cauta respecto al uso de IA parece favorecer el desarrollo de un enfoque más crítico y ético sobre las tecnologías digitales.

c) *Institucionalización.* Muestra correlaciones positivas con ambas áreas, lo que sugiere que marcos normativos explícitos sobre IAGen pueden contribuir a mejorar tanto el pensamiento computacional como la alfabetización digital.

No obstante, estas correlaciones son descriptivas y no controlan por otras variables relevantes ni permiten identificar patrones dentro de cada

GRÁFICO 6

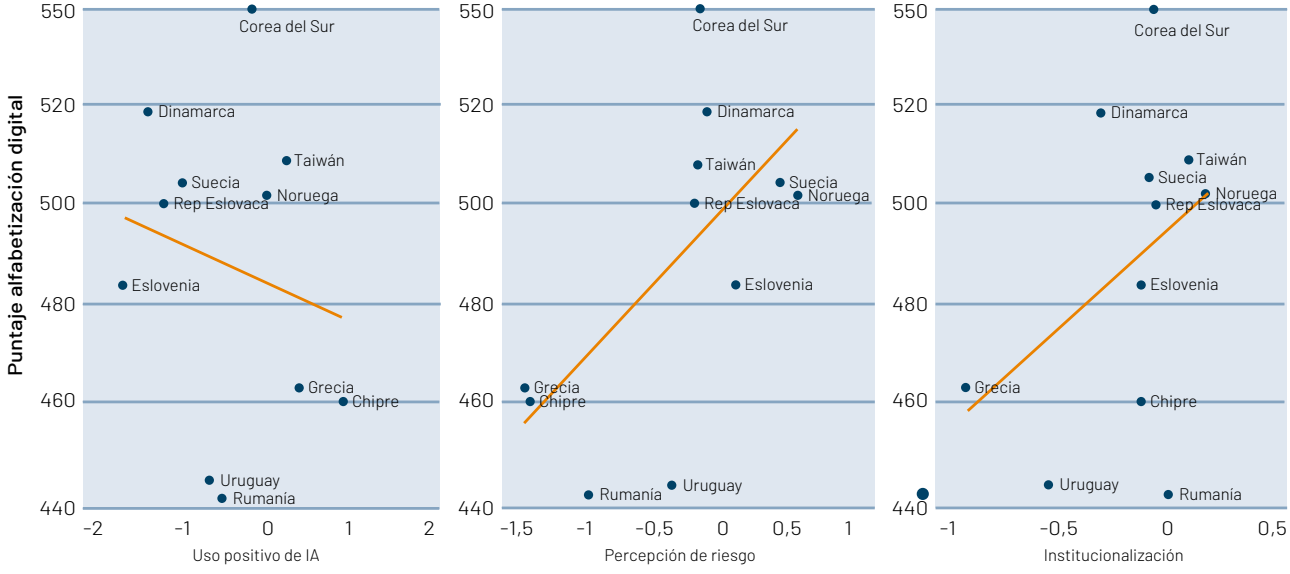
ASOCIACIÓN ENTRE PREPARACIÓN INSTITUCIONAL EN IAGEN Y DESEMPEÑO EN CT POR PAÍS



Fuente: Elaboración propia.

GRÁFICO 7

ASOCIACIÓN ENTRE PREPARACIÓN INSTITUCIONAL EN IAG Y DESEMPEÑO EN ALFABETIZACIÓN DIGITAL (CIL) POR PAÍS



Fuente: Elaboración propia.

CUADRO N.º 3

RELACIÓN DE LA PREPARACIÓN INSTITUCIONAL PARA IAG EN COMPETENCIAS DIGITALES (MODELOS DE REGRESIÓN LINEAL SIMPLE)

	CT	CIL
Expectativas positivas	0,026*	0,006
	(0,013)	(0,032)
Percepción de riesgo	-0,009	0,101**
	(0,014)	(0,031)
Institucionalización	-0,005	0,006
	(0,011)	(0,025)
Constante	-0,437***	0,054*
	(0,012)	(0,023)

Notas: Errores estándar entre paréntesis. Estimaciones realizadas con pesos muestrales y 75 réplicas *jackknife*.
* p < 0,05, ** p < 0,01, *** p < 0,001.

Fuente: Elaboración propia.

CUADRO N.º 4

REGRESIONES NO LINEALES DE CT Y CIL SOBRE DIMENSIONES DE PREPARACIÓN INSTITUCIONAL PARA LA IAGen

	CT	CIL
Expectativas positivas	0,028*	-0,000
	(0,014)	(0,031)
Expectativas positivas - cuadrado	0,003 (0,007)	-0,048* (0,019)
Percepción de riesgo	-0,002	0,113***
	(0,014)	(0,031)
Percepción de riesgo - cuadrado	-0,013 (0,011)	-0,043 (0,022)
Institucionalización	0,003	0,019
	(0,013)	(0,026)
Institucionalización - cuadrado	-0,010 (0,009)	-0,026 (0,015)
Constante	-0,420***	0,167***
	(0,019)	(0,038)

Notas: Errores estándar entre paréntesis. Estimaciones realizadas con pesos muestrales y 75 réplicas *jackknife*.
* p < 0,05, ** p < 0,01, *** p < 0,001.

Fuente: Elaboración propia.

país. Por ello, en la siguiente sección se presentan modelos de regresión que incorporan controles individuales y a nivel de centro educativo.

2. Estimaciones

Esta sección presenta los resultados de modelos de regresión lineal que estiman la relación de la preparación institucional para la IAGen con los puntajes en CT y CIL. Las estimaciones se realizan con el comando REPEST de STATA (Avvisati y Keslair, 2024), incorporando pesos muestrales finales y 75 pesos replicados con cinco valores plausibles, siguiendo las especificaciones técnicas del estudio ICILS 2023. Para facilitar la interpretación de los coeficientes, tanto los puntajes de las evaluaciones como los tres componentes principales que definen la preparación institucional hacia la IAG, fueron estandarizados (media = 0, desviación estándar = 1). En consecuencia, los coeficientes reportados representan el cambio esperado en desviaciones estándar del puntaje en CT o CIL ante un incremento de una desviación estándar en cada componente.

2.1. Modelo base sin controles

El cuadro n.º 3 presenta los resultados del modelo base que relaciona los puntajes en CT y CIL, con los tres componentes o dimensiones de preparación institucional hacia la IAGen, sin incluir variables de control adicionales.

Los resultados indican que el componente "Expectativas positivas" tiene una relación significativa con CT, aunque la magnitud del coeficiente es baja. En cambio, ni el componente "Percepción de riesgo" ni la "Institucionalización" muestran asociaciones significativas con los resultados en CT. Por el contrario, los puntajes de CIL muestran que el componente "Expectativas positivas" no tiene una relación significativa, mientras que el componente "Percepción de riesgo" muestra una relación positiva y significativa. En ninguna de las evaluaciones el componente de institucionalización tiene coeficientes significativos.

2.2. Evidencia de no linealidades

La relación entre la preparación institucional y los resultados en CT o CIL podría ser no nece-

sariamente lineal. Es posible que niveles bajos de preparación institucional en cualquiera de sus dimensiones tengan una correlación limitada; no obstante, relaciones positivas pueden emerger solo una vez superado cierto umbral. También es posible que un exceso de optimismo, regulación o preocupación institucional esté asociado a una relación contraria a la esperada. Para capturar estas posibles relaciones no lineales se incorporaron términos cuadráticos para cada dimensión de preparación institucional, lo que nos permite detectar relaciones en forma de U, de U invertida (∩), umbrales de saturación, o de plano, confirmar si las asociaciones son principalmente lineales. Lo anterior, refleja de mejor manera la complejidad del entorno escolar en torno a la adopción de la IAGen. El cuadro n.º 4 muestra los resultados de estas estimaciones.

El modelo estimado muestra que la relación institucional de la IAGen varía según el tipo de habilidad evaluada. En primer lugar, se observa una relación positiva y estadísticamente significativa del componente "Expectativas positivas"; sin embargo, el término cuadrático asociado a esta variable no es significativo, lo que indica que la relación es predominantemente lineal. Por otro lado, ninguna de las otras dos dimensiones presenta asociaciones significativas con el desempeño en CT, ya sea en su forma lineal o cuadrática.

En relación con CIL, los resultados muestran una dinámica diferente. El componente "Percepción de riesgo" presenta una relación positiva fuerte y altamente significativa. Esto sugiere que una mayor conciencia institucional respecto de los riesgos asociados a la IAGen puede estar relacionada con una visión que promueve un uso más crítico, responsable y reflexivo de las tecnologías digitales en los centros educativos. Esta relación es consistente con una posible curvatura (coeficiente cuadrático = –0,043; p = 0,055), lo que sugiere que los beneficios podrían disminuir en niveles muy altos de preocupación. Por su parte, el componente "Expectativas Positivas" no presenta una relación lineal significativa, pero sí un coeficiente cuadrático negativo y significativo (coeficiente = –0,048; p < 0,05), lo que sugiere una relación en forma de ∩. Esto indicaría que la percepción positiva para el uso de la IAGen tiene una relación positiva sobre CIL solamente en niveles moderados, y podría ser menos eficaz o incluso contraproducente en niveles extremos. Finalmente, el componente de institucionalización no presenta relaciones significativas, aunque su término cuadrático (coeficiente = –0,026; *p* = 0,083) sugiere posibles rendimientos decrecientes.

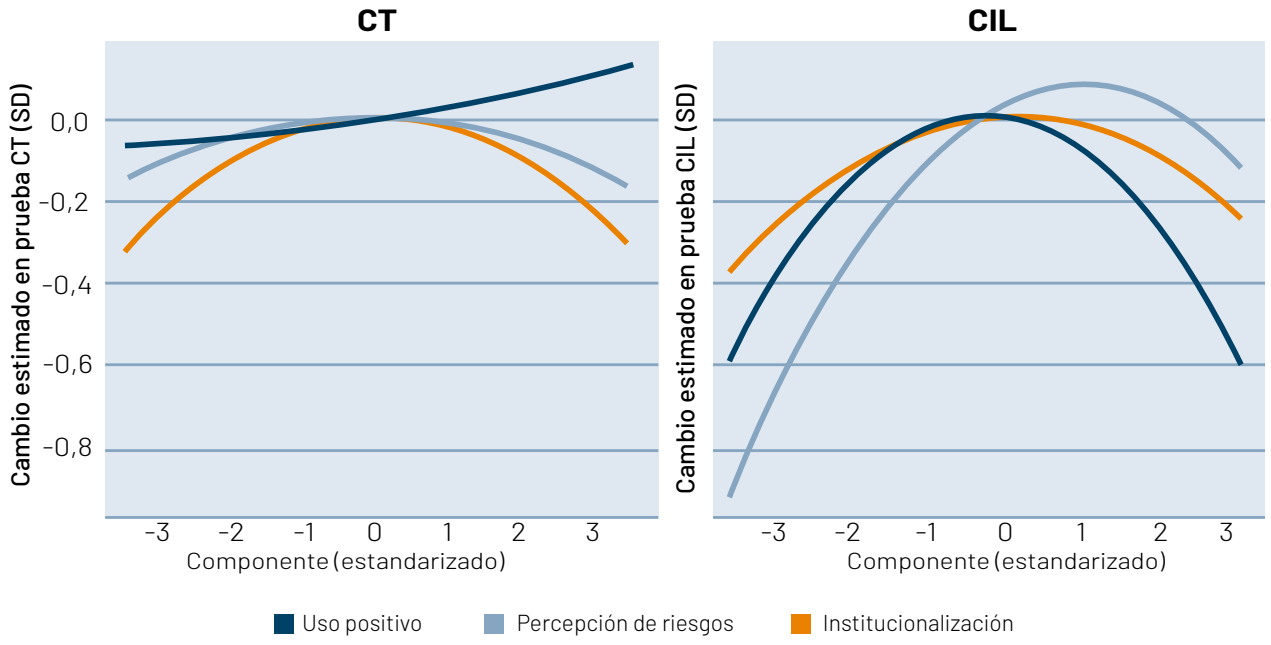
El gráfico 8 presenta las curvas estimadas a partir de modelos de regresión polinómicos de segundo grado (cuadráticos). Cada línea fue generada directamente a partir de los coeficientes del modelo, y representa la relación esperada de cada uno de los tres componentes institucionales con los puntajes en CT o CIL, manteniendo constantes los valores de los otros dos componentes.

Para el caso de CT (primer panel), la dimensión Expectativas positivas muestra una relación creciente, principalmente lineal, aunque a partir de un umbral cercano a la media estandarizada, la relación tiende a aumentar levemente. En relación con la dimensión "Percepción de riesgo", la curva tiene forma de U invertida, esto es, los puntajes de CT son más bajos en contextos con niveles muy bajos o altos de preocupación institucional sobre la IAGen, mientras que un nivel intermedio de conciencia crítica parece asociarse con mejores resultados. Respecto a la dimensión "Institucionalización", también presenta una curva en forma de U invertida, aunque más leve. Sugiere que cierta formalización del uso de IA en la escuela puede ser beneficiosa, pero que niveles muy altos podrían estar asociados con rigidez o sobrerregulación, que limitarían el potencial pedagógico de estas herramientas.

Para el caso de CIL (segundo panel), la dimensión "Expectativas positivas" tiene forma de U invertida más marcada: los mejores puntajes en CIL se observan en niveles intermedios del componente. La relación entre CIL y la dimensión "Percepción de riesgo" es crecientemente positiva, pero con indicios de saturación. Esto sugiere que un mayor nivel ponderación sobre los beneficios vs riesgos de la IAGen se asocia con mejores resultados en CIL, lo que puede reflejar un entorno más crítico, reflexivo y orientado a un uso seguro y ético de las tecnologías. Finalmente, la curva de institucionalización también

GRÁFICO 8

RELACIÓN MARGINAL ESTIMADA DE CADA COMPONENTE INSTITUCIONAL SOBRE CT Y CIL



Notas: Las curvas muestran estimaciones obtenidas a partir de modelos cuadráticos sobre la submuestra de estudiantes con puntaje válido en CT o CIL. El eje X representa el valor estandarizado de cada componente institucional derivado del análisis de componentes principales. El eje Y indica el cambio esperado en el puntaje estandarizado en CT y CIL, respectivamente. Las curvas reflejan relaciones no lineales entre los componentes y el desempeño estudiantil, capturando dinámicas de crecimiento, saturación o rendimientos decrecientes según la dimensión institucional considerada.
Fuente: Elaboración propia.

muestra una relación no lineal, con beneficios que se concentran en niveles moderados del componente, aunque la curva es más leve, al igual que en CT.

Los modelos cuadráticos confirman que las dimensiones institucionales de preparación frente a la IAgen muestran relaciones no lineales sobre las competencias digitales de los estudiantes. En el caso de CT, el uso positivo de IA parece ser el principal motor, mientras que, en CIL, un equilibrio entre entusiasmo y conciencia crítica resulta clave. En ambos casos, los extremos (ya sea de entusiasmo o de desconfianza) tienden a ser menos efectivos. Estas evidencias sugieren que la adopción pedagógica efectiva de la IAGen requiere una postura institucional balanceada, reflexiva y con apropiación progresiva de sus potencialidades y riesgos.

2.3. Regresiones con controles y efectos fijos por país

En el cuadro n.º 5 se presentan los resultados de los modelos que incluyen controles a nivel individual y escolar, así como efectos fijos por país. Los modelos [1] y [2], que controlan por características observables de estudiantes y escuelas, confirman patrones respecto a la influencia de las dimensiones de preparación institucional para la IAGen sobre las competencias digitales de los estudiantes, los que, en general, no presentan significancia estadística.

Los resultados de la dimensión "Expectativas positivas" no muestran asociaciones estadísticamente significativas con el puntaje en CT en ninguna especificación. Sin embargo, en el caso de CIL, se observa una relación cuadrática negativa y

CUADRO N.º 5

REGRESIONES DE CT Y CIL SOBRE DIMENSIONES DE PREPARACIÓN INSTITUCIONAL PARA LA IAGEN

	CT (1)	CI (2)	CT (3)	CIL (4)
Expectativas positivas	-0,004	-0,030	-0,015	-0,017
	-0,013	(0,022)	(0,013)	(0,020)
Expectativas positivas - cuadrado	-0,002	-0,035**	-0,004	-0,017
	(0,009)	(0,012)	(0,009)	(0,011)
Percepción de riesgos	-0,000	0,052**	0,002	0,002
	(0,014)	(0,019)	(0,013)	(0,016)
Percepción de riesgos - cuadrado	-0,015	-0,038**	-0,012	-0,011
	(0,010)	(0,013)	(0,011)	(0,012)
Institucionalización	-0,014	-0,022	-0,019	-0,018
	(0,012)	(0,022)	(0,012)	(0,019)
Institucionalización - cuadrado	-0,004	-0,014	-0,000	-0,011
	(0,007)	(0,011)	(0,007)	(0,009)
Mujer = 1 | Hombre = 0	0,020	-0,162***	0,016	-0,163***
	(0,014)	(0,025)	(0,014)	(0,023)
Familia inmigrante	-0,202***	-0,172**	-0,143**	-0,147**
	(0,051)	(0,053)	(0,053)	(0,052)
Expectativa educativa: ISCED 6-8	0,267***	0,494***	0,261***	0,491***
	(0,035)	(0,060)	(0,034)	(0,057)
Expectativa educativa: ISCED 4-5	0,118**	0,348***	0,137***	0,288***
	(0,037)	(0,065)	(0,036)	(0,064)
Expectativa educativa: ISCED 3	-0,004	0,088	0,024	0,044
	(0,034)	(0,063)	(0,034)	(0,060)
Libros en casa: 11 a 25	0,036	0,070	0,040	0,098*
	(0,025)	(0,046)	(0,025)	(0,043)
Libros en casa: 26 a 100	0,102***	0,241***	0,108***	0,219***
	(0,025)	(0,047)	(0,025)	(0,043)
Libros en casa: 101 a 200	0,130***	0,312***	0,146***	0,268***
	(0,029)	(0,054)	(0,029)	(0,051)
Libros en casa: más de 200	0,193***	0,384***	0,206***	0,322***
	(0,027)	(0,054	(0,027)	(0,052)
Educación padres: ISCED 3	0,014	0,076**	0,013	0,046
	(0,021)	(0,029)	(0,021)	(0,028)
Educación padres: ISCED 4-5	0,038*	0,056*	0,032	0,048*
	(0,018)	(0,025)	(0,018)	(0,024)
Educación padres: ISCED 6-8	0,013	0,095**	0,015	0,057*
	(0,021)	(0,031)	(0,020)	(0,029)

CUADRO N.º 5 (*continuación*)

REGRESIONES DE CT Y CIL SOBRE DIMENSIONES DE PREPARACIÓN INSTITUCIONAL PARA LA IAGEN

	CT (1)	CI (2)	CT (3)	CIL (4)
Experiencia de uso de computador: 1-3 años	0,079**	0,213***	0,088***	0,201***
	(0,026)	(0,050)	(0,026)	(0,049)
Experiencia de uso de computador: 3-5 años	0,096***	0,269***	0,117***	0,285***
	(0,025)	(0,048)	(0,025)	(0,048)
Experiencia de uso de computador: 5-7 años	0,150***	0,343***	0,176***	0,366***
	(0,027)	(0,048)	(0,027)	(0,049)
Experiencia de uso de computador: más de 7 años	0,179***	0,383***	0,208***	0,424***
	(0,025)	(0,045)	(0,025)	(0,046)
Uso diario TICS fuera de la escuela	-0,068***	-0,056**	-0,057***	-0,039
	(0,017)	(0,022)	(0,017)	(0,022)
Experiencia previa en programación (visual o textual)	0,074*	0,057	0,092**	0,083*
	(0,032)	(0,039)	(0,033)	(0,037)
Confía en su capacidad para programar (texto, visual o web)	0,019	-0,012	0,005	0,004
	(0,018)	(0,028)	(0,018)	(0,027)
Actitud positiva hacia la programación (interés, futuro e importancia)	0,053*	-0,001	0,051*	0,032
	(0,021)	(0,030)	(0,022)	(0,030)
TIC en clases (asignaturas principales)	0,114***	0,180***	0,113***	0,172***
	(0,019)	(0,028)	(0,019)	(0,025)
Herramientas TIC durante las clases	0,059**	0,084***	0,076***	0,108***
	(0,018)	(0,022)	(0,019)	(0,022)
Experiencia en programación dentro de la escuela (visual o textual)	-0,020	-0,022	-0,042	-0,036
	(0,027)	(0,033)	(0,027)	(0,032)
Uso TIC centro educativo: menos 5 años	-0,050	0,001	-0,043	-0,002
	(0,044)	(0,076)	(0,046)	(0,072)
Uso TIC centro educativo: 5 - 10 años	-0,047	-0,133	-0,034	-0,035
	(0,047)	(0,081)	(0,050)	(0,075)
Uso TIC centro educativo: 10 años o más	-0,044	-0,169*	-0,039	-0,038
	(0,043)	(0,072)	(0,048)	(0,074)
11-25 % estudiantes de hogares desfavorecidos	-0,046*	0,005	-0,050*	-0,060
	(0,023)	(0,036)	(0,024)	(0,035)
26-50 % estudiantes de hogares desfavorecidos	-0,052	-0,094	-0,063*	-0,105*
	(0,028)	(0,057)	(0,028)	(0,047)
Más de 50 % estudiantes de hogares desfavorecidos	-0,104*	-0,299***	-0,094	-0,243***
	(0,046)	(0,075)	(0,051)	(0,066)

CUADRO N.º 5 (*continuación*)

REGRESIONES DE CT Y CIL SOBRE DIMENSIONES DE PREPARACIÓN INSTITUCIONAL PARA LA IAGen

	CT (1)	CI (2)	CT (3)	CIL (4)
Escuela en pueblo 3.000-15.000	-0,061	0,010	-0,024	0,012
	(0,043)	(0,075)	(0,037)	(0,064)
Escuela en ciudad 15.000-100.000	0,038	0,212**	0,024	0,140*
	(0,041)	(0,076)	(0,042)	(0,070)
Escuela en ciudad 100.000-1.000.000	0,050	0,318***	0,023	0,184**
	(0,040)	(0,078)	(0,040)	(0,067)
Escuela en ciudad > 1.000.000	0,056	0,394***	0,033	0,204**
	(0,042)	(0,083)	(0,046)	(0,078)
158_Taiwán			0,000	0,000
			(,)	(,)
208_Dinamarca			-0,142**	0,216**
			(0,046)	(0,074)
410_Corea del Sur			-0,076*	0,200***
			(0,030)	(0,040)
703_República Eslovaca			-0,135***	0,013
			(0,032)	(0,049)
705_Eslovenia			-0,224***	0,088
			(0,032)	(0,051)
752_Suecia			-0,192***	0,084
			(0,037)	(0,051)
858_Uruguay			-0,339***	-0,163*
			(0,041)	(0,069)
196_Chipre				-0,306***
				(0,053)
300_Grecia				-0,297***
				(0,058)
9642_Rumanía				-0,601***
				(0,055)
Constante	-0,941***	-0,870***	-0,886***	-0,891***
	(0,078)	(0,139)	(0,080)	(0,130)

Notas: Errores estándar en paréntesis. Estimaciones realizadas con pesos muestrales y 75 réplicas *jackknife*.
* p < 0,05, ** p < 0,01, *** p < 0,001.

Fuente: Elaboración propia.

significativa, lo que indica rendimientos marginales decrecientes, esto es, a medida que aumenta el entusiasmo institucional hacia la IAGen, los beneficios se reducen o incluso se revierten. Este hallazgo es consistente con la literatura sobre tecnologías educativas que documenta efectos no monotónicos de la adopción tecnológica (Bulman y Fairlie, 2016).

La dimensión "Percepción de riesgo" presenta un patrón en U invertida con respecto a CIL en el modelo [2]: el coeficiente lineal es positivo y significativo, mientras que el cuadrático es negativo y también significativo. Esto sugiere que percepciones moderadas de riesgo pueden estar asociadas con mejores resultados en alfabetización digital. Aunque esta relación no se replica para CT ni se mantiene con controles adicionales, se alinea con enfoques que destacan el rol del pensamiento crítico en contexto digital, donde un cierto escepticismo saludable podría favorecer un uso más consciente y efectivo de la tecnología (Sönmez, 2021).

En contraste, la dimensión de institucionalización del uso de IAGen no exhibe asociaciones significativas con los puntajes estudiantiles en ninguna especificación, lo que sugiere que la existencia de documentos, políticas o lineamientos formales no se traduce automáticamente en mejores resultados. Este hallazgo puede reflejar: (i) heterogeneidad en la calidad de la implementación institucional; (ii) efectos propios de fases tempranas de adopción, donde los beneficios aún no se materializan; o (iii) una posible desconexión entre las decisiones institucionales y las prácticas pedagógicas concretas.

Finalmente, al incorporar efectos fijos por país en los modelos [3] y [4], la magnitud y significancia de los coeficientes asociados a los tres componentes institucionales de IAGen se reduce sustancialmente. Desaparecen tanto el patrón no lineal del uso positivo como la relación cóncava entre percepción de riesgos y CIL, mientras que la institucionalización sigue sin mostrar relaciones significativas. Esta pérdida de robustez sugiere que una parte importante de la varianza atribuida inicialmente a los centros educativos podría estar explicada por diferencias estructurales entre países. En consecuencia, la heterogeneidad sistémica entre países parece desempeñar un rol central en la preparación institucional frente a la IAGen, limitando la capacidad de identificar relaciones en las prácticas a nivel global.

En contraste con lo anterior, existen variables que muestran asociaciones consistentes y robustas a través de todas las especificaciones. Por ejemplo, los indicadores de capital cultural familiar, por ejemplo, el número de libros en el hogar de los estudiantes, muestran relaciones particularmente fuertes en alfabetización digital (CIL), donde cada nivel sucesivo de libros (de 11 a más de 200) está asociado a aumentos significativos y crecientes en el rendimiento. Los estudiantes en hogares con más de 200 libros, los coeficientes alcanzan 0,322–0,384 en CIL y 0,193–0,206 en CT, todos significativos. Este patrón lineal y robusto sugiere que el entorno familiar sigue siendo un predictor crucial, incluso en contextos digitales y altamente tecnologizados.

Las expectativas educativas también son predictores consistentes: los estudiantes que aspiran a educación terciaria (ISCED 6–8) superan en hasta 0,491 desviaciones estándar en CIL y 0,267 en CT a aquellos sin esas aspiraciones. Esto respalda la literatura que vincula la proyección educativa familiar con motivación, autoconfianza y persistencia en tareas cognitivas complejas, lo cual resulta relevante para habilidades digitales.

En relación con las brechas que se identifican a nivel individual, el género es un factor diferenciador en CIL, con desventaja femenina persistente: coeficientes de −0,162 y −0,163, altamente significativos. Esta relación no se replica en CT, lo que sugiere que el sesgo no es generalizado en todas las dimensiones digitales, sino que apunta a un área específica: el acceso, evaluación y uso crítico de información. Esto puede estar mediado por factores culturales, de socialización digital o estereotipos de género en el uso de tecnologías informativas. También, estudiantes que provienen de familias inmigrantes, tienen una fuente de desventaja: estudiantes con antecedentes migrantes presentan coeficientes negativos en ambas competencias (hasta −0,202 en CT y −0,172 en CIL),

incluso después de controlar por nivel educativo parental y recursos del hogar. Esto podría reflejar barreras lingüísticas, culturales o menores redes de apoyo institucional.

También, el centro educativo es importante. El uso estructurado de herramientas TIC a nivel escolar presenta relaciones positivas, sea trabajando en asignaturas o con herramientas específicas (0.,113–0,114 CT y 0,172–0,180 para CIL). En cambio, el uso diario fuera de la escuela tiene una relación negativa: hasta –0,068 en CT y –0,056 en CIL. Esto es hallazgo relevante, una vez que podría sugerir que el uso apropiado de la IAGen requerirá del trabajo centro educativo para su integración a tareas pedagógicas guiadas que puedan potenciar el aprendizaje. Esto sugiere que cuando su uso no tiene un marco y orientación, es decir, es principalmente recreativo, puede desplazar el tiempo dedicado a actividades cognitivamente demandantes.

Por otro lado, se observa que la experiencia acumulada en uso de computadores es una variable altamente predictiva. Las relaciones son crecientes y significativas, llegando a 0,208 en CT y 0,424 en CIL para más de siete años de experiencia. Estas relaciones indican que no basta con el acceso puntual a tecnología; es la trayectoria continua de exposición la que se asocia al desarrollo de habilidades como la realización de algoritmos o navegación crítica. En la misma línea, la experiencia con programación muestra una relación positiva (0,083 para CIL y hasta 0,092 para CT), especialmente si es adquirida fuera de la escuela. La autoeficacia y actitud positiva hacia la programación también suman, aunque con menor consistencia estadística.

Los centros educativos con alta concentración de vulnerabilidad (más del 50 por 100 de estudiantes de hogares desfavorecidos) muestran resultados negativos en CIL (–0,243 a –0,299), así como también en CT (hasta –0,104). Esto sugiere relaciones fuertes con el entorno, probablemente vinculados a menor acceso a redes, menor equipamiento escolar o menor capital tecnológico del entorno inmediato. En contraste, la ubicación urbana tiene relaciones positivas crecientes sobre CIL: vivir en una ciudad de más de un millón de habitantes se asocia con mejoras de hasta 0,394 desviaciones estándar. Esto podría reflejar beneficios de red, diversidad de entornos digitales o mayores oportunidades de alfabetización mediática.

VI. IMPLICACIONES PARA POLÍTICAS EDUCATIVAS EN LA ERA DE LA IAGen

Desde una perspectiva de política pública, este estudio aporta tres líneas de acción estratégicas. En primer lugar, el ACP propuesto constituye una herramienta novedosa y replicable para diagnosticar y monitorear la preparación institucional hacia la IAGen. Esta herramienta permite identificar con precisión dimensiones críticas, tales como expectativas, percepción de riesgos e institucionalización formal, las que deben ser abordadas desde la gestión escolar y la política educativa.

En segundo lugar, nuestros hallazgos sugieren que no basta con expandir el acceso a tecnologías de inteligencia artificial: se requiere una inserción pedagógica crítica y bien articulada. La evidencia de relaciones no lineales en los modelos empíricos, esto es, patrones en forma de U o con retornos decrecientes, refuerza la necesidad de enfoques balanceados. Las políticas deberían evitar sesgos tecnológicos excesivamente optimistas o normativas restrictivas que paralicen la innovación sobre todo en un contexto de explosión de la IAGen. Dentro de esta línea, es importante destacar el papel de los directores de centros educativos, puesto que su labor no solo consiste en facilitar el acceso a tecnologías, como la IAGen, sino en construir las condiciones institucionales que permiten a los estudiantes absorber y aprovechar críticamente estas herramientas. La productividad de equipos directivos, en términos de liderazgo pedagógico, claridad normativa y capacidad de gestión, se vuelve fundamental para traducir el potencial técnico de la IAGen en aprendizajes significativos. Por tanto, fortalecer la capacidad institucional de los líderes escolares es tan crucial como invertir en infraestructura tecnológica.

Por último, las fuertes desigualdades observadas en la preparación institucional, especialmente entre escuelas que atienden a estudiantes vulnerables,

destacan la urgencia de políticas de equidad digital. Promover condiciones habilitantes en contextos rezagados no es solo una cuestión de justicia social, sino también de eficacia educativa: si no se corrigen estas asimetrías, la IAGen podría amplificar las brechas preexistentes en lugar de cerrarlas.

VII. CONCLUSIONES: DESAFÍOS PARA LA EQUIDAD EDUCATIVA ANTE LA IAGen

Este estudio contribuye al debate actual sobre la adopción de tecnologías educativas, como la IAGen, proporcionando una caracterización empírica sobre la preparación institucional de los sistemas escolares. Una conclusión clave de nuestros análisis es que la existencia de un ambiente institucional favorable hacia la IAGen no implica automáticamente mejoras en resultados educativos como el pensamiento computacional o la alfabetización digital. Mientras que las expectativas positivas sobre el uso de IAGen se asocia con mayores resultados en pensamiento computacional (CT), la alfabetización digital (CIL) parece depender más de entornos institucionales que reconocen los riesgos y que cuentan con marcos normativos más explícitos. Sin embargo, estas asociaciones no son necesariamente lineales, lo cual sugiere la existencia de umbrales de saturación o efectos mixtos según, contexto.

Por otro lado, al considerar diferencias estructurales y contextuales entre países, observamos que las relaciones iniciales identificadas pierden robustez, lo cual subraya la relevancia del entorno nacional específico en la implementación tecnológica educativa. Esto sugiere que la adopción de la IAGen debe adaptarse cuidadosamente al contexto local y nacional, considerando políticas educativas, infraestructuras tecnológicas y prácticas culturales existentes. Asimismo, la evidencia empírica presentada refuerza y amplía la literatura sobre desigualdades digitales, destacando que el acceso a la tecnología por sí solo es insuficiente para generar beneficios educativos. Nuestro análisis revela claramente cómo factores socioeconómicos siguen siendo determinantes centrales no solo en el desarrollo de competencias digitales, sino que en la preparación misma para la adopción de la IAGen por los centros escolares. En otras palabras, los centros escolares más vulnerables están menos preparados para adoptar IAGen, lo que profundizaría las desigualdades educativas existentes. También emergen desigualdades específicas como las relacionadas con género, lo que confirma la importancia de considerar estos aspectos al diseñar intervenciones educativas inclusivas y equitativas.

Futuras investigaciones deberían abordar tres dimensiones clave para profundizar estos hallazgos iniciales: (i) analizar longitudinalmente cómo evoluciona la preparación institucional hacia la IAGen en el tiempo; (ii) explorar en profundidad la causalidad subyacente en la relación entre adopción institucional de IAGen y aprendizajes específicos de los estudiantes; y (iii) examinar cómo interactúan estos procesos con diferentes marcos regulatorios y culturales a nivel país. Abordar estas cuestiones será fundamental para asegurar que la IAGen se convierta en una herramienta efectiva para reducir brechas educativas y mejorar de manera equitativa la calidad del aprendizaje.

BIBLIOGRAFÍA

Arias Ortiz, E., Castro, N., Forero, T., Gambi, G., Giambruno, C., Pérez, M., Daniel, A. y **Segura, R. (2025).** *AI and Education: Building the Future Through Digital Transformation.* https://doi.org/10.18235/0013500

Avvisati, F. y **Keslair, F. (2024).** REPEST: Stata module to run estimations with weighted replicate samples and plausible values. *Statistical Software Components*. https://ideas.repec.org/c/boc/bocode/s457918.html

Bulman, G. y **Fairlie, R. W. (2016).** Technology and Education: Computers, Software, and the Internet. *Handbook of the Economics of Education*, 5, 239-280. https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63459-7.00005-1

Fraillon, J, y **Rožman, M. (2024).** IEA international computer and information literacy study 2023: *Assessment framework. IEA International Computer and Information*

Literacy Study 2023: *Assessment Framework*, 1-87. https://doi.org/10.1007/978-3-031-61194-0

Ganimian, A. J. y **Murnane, R. J. (2016).** Improving Education in Developing Countries: Lessons From Rigorous Impact Evaluations. *Review of Educational Research*, 86(3), 719-755. https://doi.org/10.3102/0034654315627499/SUPPL_FILE/APPENDIX_B_ONLINE_ONLY.XLSX

Ganzeboom, H. B. G., De Graaf, P. M. y **Treiman, D. J. (1992).** A Standard International Socio-Economic Index of Occupational Status. *Social Science Research*, 21(1), 1-56. https://doi.org/10.1016/0049-089X(92)90017-B

Kinder, A., Briese, F. J., Jacobs, M., Dern, N., Glodny, N., Jacobs, S. y **Leßmann, S. (2025).** Effects of adaptive feedback generated by a large language model: A case study in teacher education. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 8, 100349. https://doi.org/10.1016/J.CAEAI.2024.100349

Lee, H. P. (Hank), Sarkar, A., Tankelevitch, L., Drosos, I., Rintel, S., Banks, R. y **Wilson, N. (2025).** The Impact of Generative AI on Critical Thinking: Self-Reported Reductions in Cognitive Effort and Confidence Effects From a Survey of Knowledge Workers. *Conference on Human Factors in Computing Systems - Proceedings* . https://doi.org/10.1145/3706598.3713778/ASSET/280E4F22-6346-4251-9F64-8A3FB61A82CC/ASSETS/GRAPHIC/CHI25-692-FIG2.JPG

McKinsey (2023). *The state of AI in 2023: Generative AI's breakout year* | McKinsey. https://www.mckinsey.com/capabilities/quantumblack/our-insights/the-state-of-ai-in-2023-generative-ais-breakout-year

Miao, F. y **Holmes, W. (2024).** *Guía para el uso de IA generativa en educación e investigación - UNESCO Digital Library*. 1-49. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000389227

Moundridou, M., Matzakos, N. y **Doukakis, S. (2024).** Generative AI tools as educators' assistants: Designing and implementing inquiry-based lesson plans. Computers and Education: *Artificial Intelligence*, 7, 100277. https://doi.org/10.1016/J.CAEAI.2024.100277

Muralidharan, K., Singh, A. y **Ganimian, A. J. (2019).** Disrupting Education? Experimental Evidence on Technology-Aided Instruction in India. *American Economic Review*, 109(4), 1426-1460. https://doi.org/10.1257/AER.20171112

Ng, D. T. K., Chan, E. K. C. y **Lo, C. K. (2025).** Opportunities, challenges and school strategies for integrating generative AI in education. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 8, 100373. https://doi.org/10.1016/J.CAEAI.2025.100373

OECD. (2021). *OECD Digital Education Outlook 2021* (OECD Digital Education Outlook). OECD. https://doi.org/10.1787/589B283F-EN

OECD. (2023). *OECD Digital Education Outlook* 2023. https://doi.org/10.1787/C74F03DE-EN

Sönmez, E. (2021). Technology-Enhanced CT: A Systematic Review. *Thinking Skills and Creativity*, 41, 100913. https://doi.org/10.1016/J.TSC.2021.100913