

ORIGINAL

Prediction of ICT Usage in Ecuador Through Machine Learning: impact of Education Level, Age, and Income on Digital Inclusion

Predicción del uso de TICs en Ecuador mediante aprendizaje automático: impacto del nivel educativo, edad e ingresos en la inclusión digital

Patricio Moreno-Vallejo¹  , Patricio Moreno-Costales²  , Gisel Bastidas-Guacho²  , María Vallejo-Sanaguano³  

¹Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Facultad de Administración de Empresas. Riobamba. Ecuador.

²Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Facultad de Informática y Electrónica. Riobamba. Ecuador.

³Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Facultad de Recursos Naturales. Riobamba. Ecuador.

Citar como: Moreno-Vallejo P, Moreno-Costales P, Bastidas-Guacho G, Vallejo-Sanaguano M. Prediction of ICT Usage in Ecuador Through Machine Learning: impact of Education Level, Age, and Income on Digital Inclusion. Data and Metadata. 2025; 4:1006. <https://doi.org/10.56294/dm20251006>

Enviado: 10-09-2024

Revisado: 17-01-2025

Aceptado: 19-05-2025

Publicado: 20-05-2025

Editor: Dr. Adrián Alejandro Vitón Castillo 

Autor para la correspondencia: Patricio Moreno-Vallejo 

ABSTRACT

The progress of digital technologies in Ecuador during 2023-2024 was analyzed using data from the ENEMDU and machine learning models, processing 56 941 records that were carefully cleaned, normalized, and organized. Most notably, there was an increase in ICT usage across all age groups: usage among young people aged 18-29 rose by 1,7 %, among adults aged 30-49 by 1 %, and among those over 50 by 1,2 %. Education level emerged as the most decisive factor, showing a strong correlation of 0,69, although improvements were observed across all income levels. However, the gap between urban and rural areas remains significant, highlighting the need for more inclusive policies. The results suggest that this growth is expected to continue through 2025 and begin to stabilize between 2026 and 2027.

Keywords: ICT; Ecuador; Machine Learning; Digital Divide; Projections.

RESUMEN

Se analizó el avance de las tecnologías digitales en Ecuador durante 2023-2024 usando datos de la ENEMDU y modelos de IA, procesando 56 941 registros que se limpió, normalizó y organizó cuidadosamente. Lo más interesante es que se encontró un aumento en el uso de TIC en todos los grupos de edad: los jóvenes de 18-29 años subieron un 1,7 %, los adultos de 30-49 un 1 % y las personas mayores de 50 años un 1,2 %. El nivel educativo resultó ser el factor más determinante, con una fuerte correlación de 0,69, aunque se vio progresos en todos los niveles económicos. Aun así, las diferencias entre zonas urbanas y rurales siguen siendo notorias, lo que indica que hacen falta políticas más inclusivas. Los resultados proyectan que, este crecimiento debería mantenerse hasta 2025 para luego empezar a estabilizarse entre 2026 y 2027.

Palabras clave: TIC; Ecuador; Aprendizaje Automático; Brecha Digital; Proyecciones.

INTRODUCCIÓN

Las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) han tenido una influencia evidente en la

forma en que las personas nos relacionamos en la actualidad;⁽¹⁾ ha transformado la educación, el empleo, el entretenimiento permitiendo formas más rápidas, eficientes de acceder, interpretar y difundir información.

Pero su adopción no ha sido equitativa, hasta países con altos índices de utilización de la tecnología, como Estados Unidos, no escapan a este problema.⁽²⁾ Aunque el 85 % de los adultos estadounidenses tiene teléfonos inteligentes y el 77 % de los hogares dispone de internet de alta velocidad, casi un tercio de la población sigue teniendo problemas para conectarse.⁽³⁾ Esta desigualdad pone en evidencia las marcadas diferencias en ingresos y nivel educativo.⁽⁴⁾ En contraste, China ha logrado avances significativos en reducir esta brecha, para 2023, alcanzó los 1 092 millones de usuarios de internet, con un crecimiento del 66,5 % en conectividad rural, lo que representa un incremento de 4,6 puntos porcentuales respecto a inicios de ese año.⁽⁵⁾

En Ecuador, la brecha digital va más allá del simple acceso a las tecnologías de la información y comunicación (TIC); también tiene consecuencias ambientales derivadas de la creciente digitalización. Según cifras de la Encuesta Nacional de Empleo, Desempleo y Subempleo (ENEMDU), factores socioeconómicos y geográficos no solo restringen el uso de estas herramientas, sino también su impacto en áreas críticas como la educación y el mercado laboral.⁽⁶⁾

Por otro lado, el informe Economía Digital 2024 de la ONU advierte que el aumento en el uso de dispositivos digitales y el crecimiento de la infraestructura tecnológica ya representan hasta un 3,2 % de las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero. Por ello, en países en desarrollo como Ecuador, las estrategias de digitalización deben abordar dos desafíos simultáneos: reducir la brecha digital y promover prácticas sostenibles que minimicen el impacto ambiental.

La aceleración de la economía digital en países en desarrollo es una necesidad urgente, como se señala en el informe de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo.⁽⁷⁾ Aunque el comercio digital y la conectividad han crecido en muchas regiones, países como Ecuador enfrentan serias barreras en el acceso a infraestructuras digitales y al comercio electrónico. En economías menos desarrolladas, solo el 6 % de la población realiza compras en línea, en comparación con el 62 % en economías avanzadas, lo que evidencia una brecha digital que limita significativamente las oportunidades en el mercado laboral y el comercio. La transformación digital en América Latina ha sido un proceso acelerado en las últimas décadas, pero enfrenta desafíos significativos en países como Ecuador, donde las desigualdades en el acceso a tecnologías aún persisten. La digitalización ha crecido considerablemente en varios sectores, las barreras económicas y la infraestructura insuficiente siguen siendo obstáculos para una adopción equitativa de las tecnologías digitales.⁽⁸⁾ Comprender cómo las características sociodemográficas relacionadas con la edad, el nivel educativo y los ingresos, influyen en el acceso y uso de las TIC, es necesario para abordar estas inequidades, particularmente en países en desarrollo donde las disparidades suelen ser más pronunciadas.⁽⁹⁾

Las TIC han transformado radicalmente la comunicación organizacional y social, impactando significativamente el mercado laboral.⁽¹⁰⁾ El rápido desarrollo de tecnologías como robots, inteligencia artificial y software está digitalizando la información y modificando los procesos productivos.⁽¹¹⁾ La ciencia y tecnología, compuestas por investigación, desarrollo e innovación, se consideran herramientas clave para el progreso económico.⁽¹²⁾ El avance tecnológico genera un debate sobre su impacto laboral: mientras puede provocar desempleo por automatización, también puede crear nuevos negocios, sectores y profesiones que demandan especialistas altamente calificados.⁽¹³⁾ A pesar de los avances en la digitalización global, países como Ecuador enfrentan retos significativos en la adopción de las TIC. Investigaciones realizadas en otros países han confirmado que elementos como el nivel de educación, los ingresos e incluso la edad influyen directamente en el acceso y uso de las tecnologías de la información (TIC).⁽³⁾ Sin embargo, aún falta analizar cómo interactúan estas variables en Ecuador, especialmente durante el acelerado proceso de transición digital que vivió entre 2023 y 2024.

En este estudio se usó los datos de la ENEMDU (2023 y 2024)⁽⁶⁾ para ver cómo los ecuatorianos están adoptando las tecnologías digitales. Se quiere entender no solo cómo usan internet y dispositivos, sino también qué los ayuda o dificulta para acceder a estas tecnologías.⁽¹⁴⁾ Al comparar estos resultados con investigaciones anteriores y examinar los cambios anuales, el estudio proporciona una visión actualizada de los desafíos y oportunidades en materia de inclusión digital. El objetivo principal del estudio es analizar factores como la edad, el nivel educativo y los ingresos que condicionan el tipo y la frecuencia de actividades realizadas en Internet para evaluar cómo estas dinámicas han cambiado entre 2023 y 2024.

De esta manera, se espera proporcionar insumos prácticos para el diseño de políticas públicas efectivas que reduzcan las brechas digitales y fomenten un acceso equitativo a las TIC.⁽¹⁵⁾ Entre las preguntas clave que este estudio aborda se incluyen: ¿cómo han evolucionado los patrones de uso de las TIC en distintos grupos etarios y educativos en el último año? ¿Qué papel han jugado las condiciones socioeconómicas en el uso de las tecnologías digitales? No solo es importante responder a estas preguntas para avanzar hacia sociedades más inclusivas en la era digital, sino también para adaptar políticas públicas a las necesidades actuales y futuras.⁽¹⁶⁾

MÉTODO

Este estudio se fundamenta en datos de ENEMDU Ecuador correspondientes a los años 2023 y 2024, esta

base de datos tiene información que se relacionan con características sociodemográficas y patrones de uso de tecnologías de la información y la comunicación (TIC).

Fuentes de los datos

En este análisis se incluyen 56 941 registros y 171 variables de conglomerados urbanos y rurales de las provincias del Ecuador a excepción de Galápagos, relacionadas con el acceso a tecnologías digitales, la distribución geográfica de la población y datos sociodemográficos como: edad, nivel de instrucción, ingresos per cápita y empleo que corresponden a los años 2023 y 2024. En lo relacionado al uso de TIC se cuenta con información sobre la frecuencia y tipo de actividades en línea, como educación, ocio y comunicación, además se engloba identificadores de vivienda y hogar para análisis a nivel individual y familiar.

Procesamiento de gestión de datos

Para garantizar la calidad del conjunto de datos se identificó y corrigió errores, inconsistencias y problemas, se excluyeron las observaciones incompletas en variables clave como edad y nivel educativo para evitar sesgos, y se utilizó imputación estadística (moda o mediana) en variables secundarias.

Adicionalmente, se eliminaron registros duplicados y datos inconsistentes entre los años 2023 y 2024. En cuanto a la transformación de variables, se aplicó One-Hot Encoding⁽¹⁷⁾ a variables categóricas como nivel educativo y tipo de actividad TIC en lugar de Label Encoding para evitar asignar relaciones ordinales artificiales que pudieran sesgar los resultados, y se normalizaron⁽¹⁸⁾ ingresos y edad a un rango entre 0 y 1 para asegurar compatibilidad en los modelos.

Por otra parte, se añadió una columna “año” para distinguir los registros de 2023 y 2024, permitiendo un análisis comparativo.

Además, se generó la variable “uso_tic” para cuantificar el nivel de interacción con tecnologías digitales. Para ello, se seleccionaron variables relacionadas con el acceso y uso de dispositivos, Internet y habilidades digitales, incluyendo la tenencia y cantidad de teléfonos móviles, el uso de smartphones, la conectividad y servicios en línea utilizados, la frecuencia de uso de Internet y computadoras, así como competencias digitales básicas y avanzadas. Cada una de estas variables se transformó a formato numérico, se reemplazaron valores atípicos y se normalizaron por su máximo valor. Luego, se calculó el porcentaje de uso de TICs sumando los valores normalizados de todas las variables y dividiéndolos entre el total de indicadores considerados, obteniendo un índice relativo entre 0 y 100. Esta nueva variable permite evaluar patrones de adopción tecnológica y su relación con otras características sociodemográficas.

Método de análisis

Se realizó el análisis de correlación de Spearman⁽¹⁹⁾ para identificar relaciones clave entre variables como edad, nivel educativo e ingresos con el uso de TIC. Además, se generaron visualizaciones como gráficos de barras y mapas de calor⁽²⁰⁾ para mostrar los cambios en los patrones de uso de las TIC y resaltar las correlaciones fuertes, respectivamente. En cuanto a la comparación interanual, se evaluaron las variaciones en el uso de TIC por grupo etario, educativo y económico entre 2023 y 2024, identificando nuevas tendencias como el teletrabajo y la capacitación digital.

Debido a que se tenían 171 variables, se usaron modelos de aprendizaje por computadora para seleccionar las variables más relevantes al uso de las TIC. Entre las técnicas aplicadas se encuentran los árboles de decisión⁽²¹⁾ y Random Forest⁽²²⁾ que tienen la capacidad de manejar datos heterogéneos y relaciones no lineales típicas en estudios sociodemográficos y que permitieron determinar que entre las variables que más se relacionan con el uso de las TIC se encuentran los ingresos, edad y nivel educativo. También se usó técnicas de aprendizaje profundo como las redes neuronales de memoria a corto y largo plazo (LSTM, por sus siglas en inglés: Long Short-Term Memory) utilizando una arquitectura de dos capas con 64 neuronas cada una para modelar las tendencias temporales del uso de las TIC en base a las variables obtenidas en los años 2023 y 2024.

Evaluación de modelos

Para medir la precisión del modelo en la proyección del uso de las TIC se utilizó la métrica de evaluación del Error Cuadrático Medio (MSE) por su sensibilidad a grandes errores, particularmente relevante para aplicaciones en políticas públicas. Se aplicó una división de datos en entrenamiento (80 %) y prueba (20 %) para garantizar la generalización y evitar el sobreajuste, asegurando que ambos conjuntos mantuvieran la proporción original de grupos demográficos. Además, se implementó normalización con MinMaxScaler para estabilizar la convergencia del modelo y mejorar la representatividad de las variables. Se incorporaron técnicas de regularización como Dropout (0,2) para prevenir sobre ajustes. Se utilizó el optimizador Adam para ajustar dinámicamente la tasa de aprendizaje, mejorando la estabilidad del modelo. Además, se empleó EarlyStopping para interrumpir el entrenamiento en caso de que la pérdida de validación dejara de mejorar, asegurando un modelo más preciso y eficiente. Adicionalmente, se reportó el R^2 ajustado (0,72), lo cual indica que el modelo explica el 72 % de la

varianza en el uso de TIC, junto con la precisión balanceada (0,81) y F1-score (0,79) para evaluar el desempeño en grupos minoritarios.

RESULTADOS

El análisis comparativo entre 2023 y 2024 ayuda a entender cómo ha ido cambiando el uso de las TIC en Ecuador. Al revisar los datos, se notan ciertos avances importantes, aunque también persisten desigualdades y aparecen nuevas tendencias que vale la pena seguir de cerca.

Evolución de la participación en actividades relacionadas a las TIC

La participación en actividades relacionadas con las TIC ha crecido en todos los grupos de edad (figura 1). En los jóvenes de 18 a 29 años, el uso subió +1,7 puntos porcentuales pasando de 62,6 % a 64,3 %, que refleja cómo las plataformas digitales siguen siendo parte clave de su día a día, tanto en lo académico como en lo social y laboral.

El grupo de 30 a 49 años también creció ligeramente +1 punto porcentual, ascendiendo de 55,6 % al 56,6 %, en gran parte porque las TIC se han vuelto imprescindibles para el teletrabajo, la formación continua y las compras por internet.

En el caso de las personas mayores de 50 años, el aumento fue de +1,2 puntos porcentuales pasando de 37,3 % al 38,5 %. Aunque el crecimiento es más lento, refleja ciertos avances que podrían estar ligados a programas de alfabetización digital. Aun así, hay obstáculos que no se pueden ignorar, como la falta de acceso a dispositivos adecuados o las dificultades para aprender a usarlos.

Los jóvenes y los adultos en edad laboral son los que lideran la adopción de las TIC, quienes las utilizan en sus actividades académicas (educación a distancia), profesionales (teletrabajo, búsqueda de empleo) y mantenimiento de sus redes sociales, en el caso de los adultos mayores se requiere la implementación de estrategias que les permita utilizar las tecnologías digitales y de esta forma ir reduciendo la brecha tecnológica.

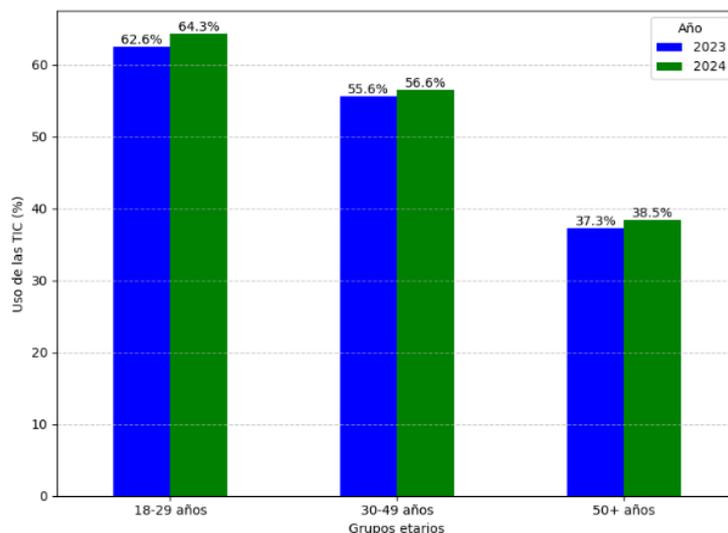


Figura 1. Evolución de actividades TIC por grupo etario (2023 vs. 2024)

Utilización de las TIC en función del nivel educativo

Como se puede observar (figura 2) existe, un crecimiento generalizado en casi todos los niveles educativos, aunque con diferencias significativas entre ellos en el empleo de las tecnologías digitales.

El segmento sin nivel educativo presentó un aumento mínimo de +0,5 puntos porcentuales, pasando del 4,5 % al 5,0 %, lo que confirma su rezago tecnológico; la educación primaria impulsada por programas de digitalización en las escuelas después de la pandemia del covid-19, mayor accesibilidad a dispositivos tecnológicos en los hogares, muestran un incremento más notable de +1,4 puntos porcentuales, pasando de 29,1 % al 30,5 %.

En la educación secundaria se observó un crecimiento moderado de 0,8 puntos porcentuales (del 53,2 % al 54,0 %), lo que confirma una adopción tecnológica ya consolidada. Contrasta con el caso de la educación superior, único nivel que registró un leve descenso de -0,3 puntos porcentuales pasando del 73,6 % al 73,3 %, probablemente debido a su cercanía a niveles de saturación en el uso de estas tecnologías.

Se determina la existencia de una correlación positiva entre el nivel educativo y la adopción de la tecnología digital; si bien, los avances en los niveles básicos son alentadores, la baja penetración en la población sin escolarización subraya la necesidad urgente de políticas de inclusión digital. Por otro lado, el leve retroceso observado en educación superior requiere investigaciones adicionales para discernir si obedece a factores

metodológicos o a un estancamiento en la adopción.

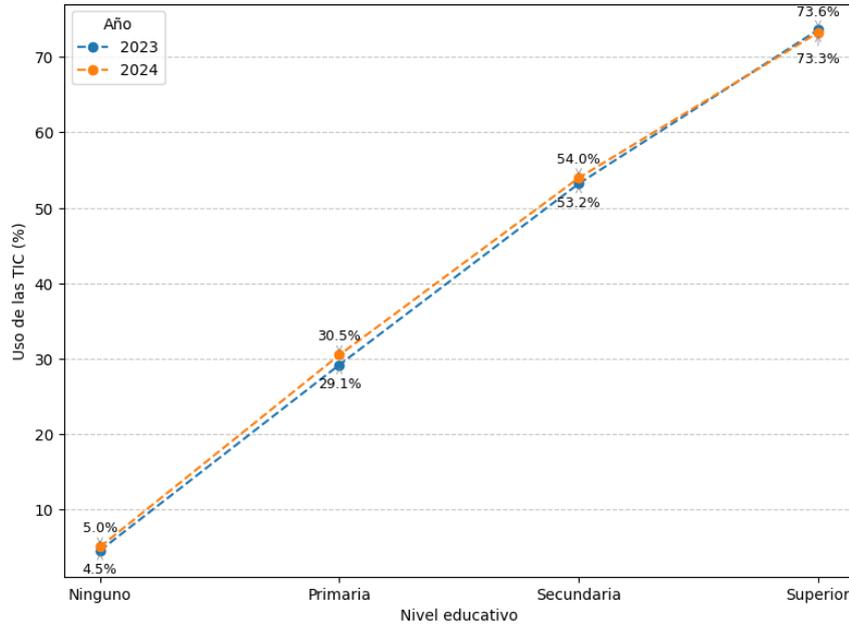


Figura 2. Relación entre nivel educativo y uso de TIC

El gráfico de caja y bigotes (figura 3) evidencia la dispersión del uso de TIC según el nivel educativo, mostrando que la variabilidad es mayor en los niveles inferiores, especialmente en primaria y sin nivel educativo, donde existen diferencias significativas en el acceso y uso de tecnologías dentro de cada grupo, mientras que, en educación superior, la distribución es más homogénea con valores más concentrados en niveles altos de uso. La presencia de valores atípicos en primaria y sin escolaridad sugiere que algunos individuos en estos segmentos han logrado acceso significativo a TIC, posiblemente a través de programas específicos de alfabetización digital. La tendencia general confirma que el nivel educativo es un factor determinante en la adopción tecnológica, reforzando la necesidad de estrategias que fomenten la equidad digital en los niveles educativos inferiores.

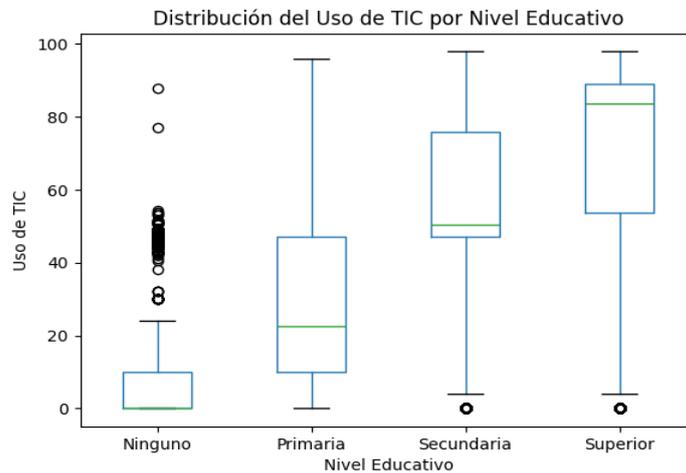


Figura 3. Distribución del Uso de TIC según Nivel Educativo

El ANOVA realizado para evaluar el uso de TIC entre distintos niveles educativos mostró un estadístico F de 17 746,36 y un p-valor de 0,0000, lo que indica diferencias altamente significativas entre los grupos. Dado que el p-valor es inferior a 0,05, se rechaza la hipótesis nula “No hay diferencias significativas en el uso de TIC entre los distintos niveles educativos”, lo que confirma que el nivel educativo influye significativamente en el uso de TIC. Esta conclusión es coherente con el gráfico de caja y bigotes, donde se observa que los individuos con mayor nivel educativo presentan una distribución más homogénea y concentrada en valores altos de uso de TIC, mientras que en los niveles más bajos la dispersión es mayor, con valores atípicos que reflejan desigualdades en el acceso y la adopción de tecnologías digitales.

Uso de TIC por nivel de ingresos

La figura 4 muestra la evolución del uso de TIC según el nivel de ingresos entre 2023 y 2024, evidenciando un aumento progresivo en todos los segmentos económicos, con un crecimiento más marcado en los sectores de menores ingresos, donde la participación pasó del 42,4 % al 44,1 % en el grupo de ingresos bajos, reflejando un incremento de 1,7 puntos porcentuales que están asociados a programas de inclusión digital y acceso a dispositivos más asequibles, mientras que en el grupo de ingresos medios el uso de TIC aumentó en 1,2 puntos porcentuales, subiendo del 55,6 % al 56,8 %, impulsado por la expansión de herramientas digitales en entornos laborales y educativos, y en el grupo de ingresos altos, donde la adopción de TIC ya es elevada, el crecimiento fue de 0,9 puntos porcentuales, pasando del 66,1 % al 67,0 %, lo que sugiere que este segmento ha alcanzado una fase de saturación en el acceso y uso de tecnologías, confirmando que aunque la brecha digital se está reduciendo paulatinamente, las diferencias de acceso entre los distintos niveles de ingresos siguen siendo significativas, especialmente en los sectores de menores recursos.

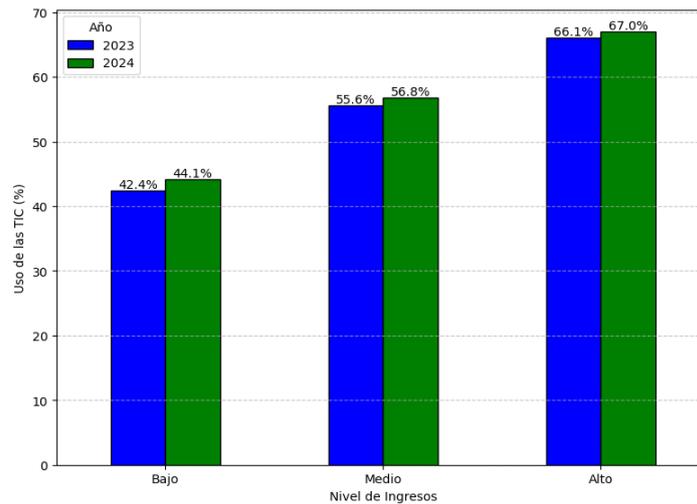


Figura 3. Uso de TIC por nivel de ingresos

Análisis de correlación de variables sociodemográficas con el uso de las TIC

La figura 4 presenta la matriz de correlación entre diversas variables sociodemográficas y el uso de TIC, evidenciando la relación entre factores estructurales y la adopción tecnológica, donde el nivel de instrucción muestra la correlación positiva más fuerte (0,69), lo que indica que a medida que aumenta el nivel educativo, el uso de TIC se intensifica, seguido por el título obtenido con un coeficiente de 0,46, lo que sugiere que alcanzar un grado académico superior influye significativamente en el acceso y utilización de herramientas digitales, mientras que el ingreso per cápita registra una correlación positiva de 0,19, reflejando que aunque el nivel de ingresos influye en la adopción de TIC, su impacto es menor en comparación con el nivel educativo, en contraste, variables como el lugar de uso de Internet (-0,23) y las distintas actividades realizadas en Internet presentan correlaciones negativas débiles, lo que sugiere que ciertas prácticas digitales pueden estar desvinculadas del acceso general a las TIC, destacando además que la edad (0,03) no muestra una relación significativa con el uso de TIC, lo que indica que, si bien la adopción tecnológica puede estar influenciada por la edad, este efecto no es tan relevante en comparación con el nivel educativo y económico, confirmando que el acceso a la educación sigue siendo el principal factor asociado a la digitalización, superando la influencia de la edad o del nivel de ingresos, lo que refuerza la necesidad de políticas que prioricen la alfabetización digital y la integración de TIC en los distintos niveles educativos.

Proyección del uso de TIC al 2027

La figura 5 muestra la proyección del uso de TIC para el período 2025-2027, evidenciando una tendencia de crecimiento continuo basada en los datos de 2023 y 2024, donde se observa un incremento progresivo en la adopción de tecnologías digitales, con una aceleración notable entre 2024 y 2025, cuando el uso de TIC pasa de aproximadamente 44,8 % a 46,8 %, reflejando un crecimiento más pronunciado en comparación con años anteriores, seguido por una estabilización relativa a partir de 2026, con un aumento más moderado que sitúa la participación en torno al 48 % en 2027, lo que sugiere que la digitalización seguirá expandiéndose, aunque con una velocidad decreciente a medida que el mercado se sature y la adopción de nuevas tecnologías alcance su punto de maduración, destacando la importancia de intervenciones estratégicas para mantener el ritmo de crecimiento y asegurar que sectores con menor acceso no queden rezagados en este proceso de transformación digital.

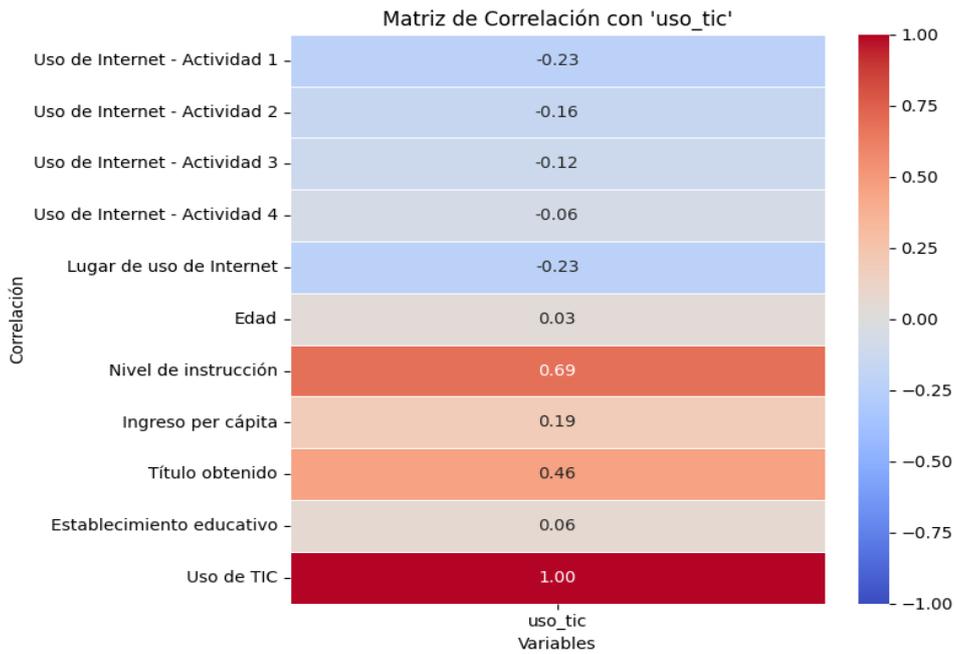


Figura 4. Correlaciones entre variables clave

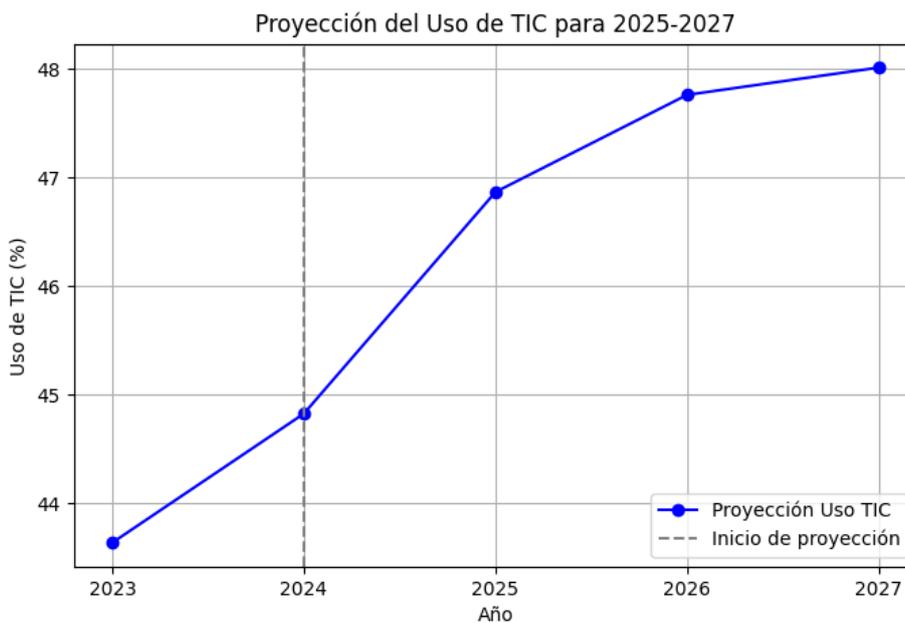


Figura 5. Proyección de uso avanzado de TIC por nivel educativo (2023-2027)

DISCUSIÓN

Los datos analizados de la encuesta realizada por ENEMDU durante los años 2023 y 2024 permitió identificar los progresos y desafíos que los ecuatorianos han enfrentado en la utilización de las tecnologías digitales. La comparación realizada revela que existe un progreso en la inclusión digital, aunque se observa que hay una disparidad relacionada a situaciones socioeconómicas, educativas y geográficas.

Los niveles de educación secundario y universitario han tenido un progreso en el uso de las TIC como lo demuestra los resultados del presente trabajo y son corroborados por el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) quien registra un incremento del 25,7 % en 2008 al 55,6 % en 2016 del empleo del internet que ha sido un pilar fundamental para la expansión de las tecnologías digitales en el sistema educativo de Ecuador. ⁽²³⁾ Este crecimiento del uso de las TIC podría vincularse también a los programas gubernamentales como el Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021 el cual impulsa la equidad educativa y hace énfasis en la integración de las TIC en la formación de los docentes para que usen la tecnología en sus aulas y habla también de mejorar

la infraestructura,⁽²⁴⁾ pero como se puede observar en los resultados del presente estudio la educación a nivel primario muestra rezago frente a los otros niveles de educación en el Ecuador.

Aunque los docentes de primaria manejen las TIC, la integración efectiva de estas tecnologías digitales en la práctica pedagógica de aula sigue siendo limitada, la razón principal está en la falta de acceso a computadoras de forma individual por parte de los estudiantes esto es confirmado por Martínez-Serrano⁽²⁵⁾ quien indica que solo el 40 % de los estudiantes utiliza las TIC regularmente en tareas escolares, pese a dominar actividades digitales básicas. Berrett et al⁽²⁶⁾ señalan que la simple disponibilidad de herramientas como computadoras, laptops, tablets, etc., no es garantía de que van hacer utilizadas adecuadamente, porque es necesario realizar una alfabetización digital temprana en los estudiantes, con la formación adecuada de docente y el acceso a los dispositivos con conexión a internet especialmente en zonas rurales y periurbanas, como enfatiza Matamala.⁽²⁷⁾

De igual forma, el nivel de ingresos sigue siendo un factor determinante en el acceso a TIC avanzadas en el Ecuador, las familias con ingresos bajos que en algunos casos son por debajo del sueldo mínimo, tienen menores tasas de adopción tecnológica, reflejando barreras económicas significativas, Nyika⁽²⁸⁾ propone la creación de redes rurales sectoriales que promuevan el uso de tecnologías digitales en las comunidades menos favorecidas.

La segmentación geográfica en Ecuador muestra que las zonas urbanas tienen una mejor posición en términos de acceso y uso de las TIC, mientras que las áreas rurales enfrentan rezagos importantes, por la falta de conexión a internet, si se les dotará de esta herramienta tecnológica, se puede considerar la sugerencia de Braesemann et al⁽²⁹⁾ en el sentido de introducir plataformas de trabajo en línea como una solución para integrar a las zonas rurales en el mercado laboral digital y evitar la migración hacia las ciudades.

Los adultos mayores han mostrado avances modestos en la adopción de las TIC, pues constituye un grupo que debe enfrentar barreras como la falta de habilidades tecnológicas y el acceso restringido a dispositivos adaptados a sus necesidades. Gonzales et al⁽³⁰⁾ señalan que los adultos mayores utilizan el teléfono móvil principalmente para comunicarse con sus familiares y como un medio terapéutico para reducir la soledad, sin embargo, esto no cubre completamente las necesidades digitales que tienen, como lo indican Park et al⁽³¹⁾ al resaltar las dificultades diarias que enfrentan los adultos mayores en su interacción con las tecnologías modernas como las redes sociales, la lectura a través del uso de audio, etc. En Ecuador se requiere estrategias que incluyan capacitación tecnológica adaptada y dispositivos simplificados para facilitar la inclusión de este grupo.

El algoritmo Random Forest de aprendizaje por computadora, facilitó la identificación de patrones relacionados con el nivel educativo y los ingresos de los ecuatorianos, este algoritmo también es utilizado en estudios internacionales, como es caso del trabajo de Satria et al⁽³²⁾ en Java Oriental provincia de Indonesia, en el cual plantea la necesidad de políticas públicas que prioricen la alfabetización digital en grupos vulnerables.

La estimación realizada hasta el 2027 sugiere que la disminución de la brecha digital en el Ecuador se producirá, si se fortalece la intervención del gobierno en los sectores más vulnerables, a través de la implementación de políticas de alfabetización digital desde la educación primaria, priorizando las zonas rurales y periurbanas para garantizar el acceso temprano a competencias digitales básicas. También el fortalecimiento de la infraestructura tecnológica mediante subsidios para dispositivos y conectividad, especialmente en regiones rurales con acceso limitado. Adicionalmente, se pueden desarrollar campañas de sensibilización dirigidas a jóvenes y adultos sobre el uso responsable y ético de las TIC, promoviendo su aplicación en educación, trabajo y desarrollo social. Además, es importante la colaboración público-privada para asegurar la sostenibilidad y la escalabilidad de los programas de inclusión digital.

La experiencia de otros países ofrece lecciones valiosas que pueden adaptarse al contexto ecuatoriano para mejorar la inclusión digital. Algunas estrategias destacadas incluyen: el programa Malaysia Netbook que distribuyó más de 1,5 millones de computadoras portátiles subsidiadas a estudiantes de familias de bajos ingresos, reduciendo las desigualdades digitales en áreas rurales y fomentando el uso educativo de las TIC.⁽³³⁾ En Ecuador, un programa similar podría enfocarse en estudiantes y hogares rurales para mejorar el acceso a herramientas tecnológicas. De forma similar, BharatNet en India conectó 250 000 aldeas rurales con internet de alta velocidad, mejorando el acceso a servicios digitales en comunidades marginadas.⁽³⁴⁾ Ampliar el acceso a internet en Ecuador mediante la colaboración con operadores locales y la expansión de redes públicas podría replicar este modelo con gran impacto. Estonia utiliza big data e inteligencia artificial para monitorear el impacto de sus políticas de inclusión digital, permitiendo ajustes estratégicos en tiempo real.⁽³⁵⁾ Ecuador podría implementar un sistema similar para evaluar continuamente los avances en inclusión digital y ajustar las intervenciones según las necesidades emergentes.

En el ámbito educativo, el programa alemán Digital Pioneers capacita a trabajadores en el uso de herramientas digitales avanzadas y certificaciones reconocidas, mejorando sus oportunidades laborales.⁽³⁶⁾ En Ecuador, una iniciativa similar podría enfocarse en sectores como el comercio electrónico y el teletrabajo, áreas de alta demanda en el mercado digital. El programa español Mayores Conectados enseña habilidades digitales básicas y avanzadas a adultos mayores, ofreciendo soporte técnico continuo y dispositivos adaptados.⁽³⁷⁾ Desarrollar programas similares en Ecuador podría facilitar la inclusión de este grupo en actividades educativas y sociales.

Por otra parte, eLimu en Kenia ofrece contenido educativo digital interactivo para comunidades rurales en múltiples idiomas, mejorando el acceso a la educación en contextos marginados.⁽³⁸⁾ Una plataforma similar en Ecuador podría atender las necesidades culturales y lingüísticas de las poblaciones rurales. Finalmente, el Plan Ceibal en Uruguay implementó campañas educativas sobre el uso de TIC, beneficiando tanto a comunidades rurales como urbanas.⁽³⁹⁾ Ecuador podría diseñar estrategias similares para aumentar el conocimiento y el uso responsable de TIC entre sus ciudadanos.

CONCLUSIONES

Existe un crecimiento sostenido en la adopción de las TIC al comparar el año 2023 con el 2024 y al realizar la proyección al 2027 que indica una tendencia favorable al empleo de las tecnologías digitales, si bien la digitalización continuará expandiéndose, los datos sugieren que el crecimiento será más pronunciado en los niveles con mayor acceso a infraestructura y formación tecnológica, mientras que, en sectores con menor escolaridad y recursos económicos, el avance será más lento.

El principal factor en la adopción de las TIC es el nivel de instrucción con una correlación positiva de 0,69 superando a las variables relacionadas con los ingresos y la edad de los ecuatorianos, evidenciándose que existe mayor adopción de las tecnologías digitales en la educación superior.

Mientras que el grupo con mayor nivel educativo muestra un uso más extendido de TIC debido a la disponibilidad de recursos y mejor acceso a infraestructura, los niveles primario y secundario aún enfrentan barreras que limitan su integración digital, incluyendo la falta de dispositivos y capacitación docente, los adultos mayores presentan avances más moderados, reflejando la necesidad de estrategias específicas para mejorar su inclusión digital.

Los sectores de menores ingresos registran un aumento en la adopción de las TIC, pero la falta de educación en el ámbito de la informática y el no contar con dispositivos de última generación, hace que tengan dificultades para utilizar de manera eficiente las diferentes aplicaciones que les podrían ayudar en sus trabajos o a buscar mejores oportunidades de empleo.

Los resultados sugieren que, aunque la digitalización seguirá en aumento, el ritmo de crecimiento se desacelerará a partir de 2026, lo que destaca la importancia de políticas sostenibles por parte del gobierno que fomenten la expansión del acceso digital sin generar exclusión.

La utilización de modelos de redes neuronales permitió que se identifiquen dinámicas de crecimiento y saturación tecnológica, demostrando su capacidad para modelar patrones temporales complejos y generar proyecciones confiables, que permitieron un manejo eficiente de los datos de ENEMDU.

REFERENCIAS

1. Kuzior A, Kochmańska A, Marszałek-Kotzur I. Information and communication technologies as a tool of modern communication in organizations and society. En: Proceedings of the 37th International Business Information Management Association Conference (IBIMA). 2021. p. 30-1.
2. UNESCO. Informe de seguimiento de la educación en el mundo, 2023: tecnología en la educación: una herramienta en los términos de quién? Paris: UNESCO; 2024.
3. Perrin A. Mobile technology and home broadband 2021. Pew Research Center. 2021;559.
4. Raihan MMH, Subroto S, Chowdhury N, Koch K, Ruttan E, Turin TC. Dimensions and barriers for digital (in) equity and digital divide: a systematic integrative review. Digital Transformation and Society. 2024;
5. Ma X. Internet use and income gaps between rural and urban residents in China. J Asia Pac Econ [Internet]. 2024 [citado 27 de diciembre de 2024];29(2):789-809. Disponible en: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/13547860.2022.2054133>
6. INEC. Tecnologías de la Información y Comunicación-TIC [Internet]. 2024 [citado 27 de diciembre de 2024]. Disponible en: <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/tecnologias-de-la-informacion-y-comunicacion-tic/>
7. ONU. Digital Economy Report 2024. United Nations Conference on Trade and Development; 2024.
8. Trujillo Valdiviezo G, Rodríguez Alegre L, Mejía Ayala D, López Padilla RDP. Transformación digital en América Latina: una revisión sistemática. Revista Venezolana de Gerencia [Internet]. 23 de septiembre de 2022 [citado 26 de diciembre de 2024];27(100):1519-36. Disponible en: <https://produccioncientificaluz.org/index.php/rvg/article/view/38788/43223>
9. Tirado-Morueta R, Aguaded-Gómez JI, Hernando-Gómez Á. The socio-demographic divide in Internet

usage moderated by digital literacy support. *Technol Soc.* 2018;55:47-55.

10. Jazdauskaite J, Privarova M, Baranskaite E, Juščius V, Kelemen-Henyel N. Evaluation of the impact of science and technology on the labour market. *Marketing i menedžment inovacij.* 2021;(4):153-67.

11. Albinowski M, Lewandowski P. The impact of ICT and robots on labour market outcomes of demographic groups in Europe. *Labour Econ.* 2024;87:102481.

12. Hetmańczyk P. Digitalization and its impact on labour market and education. Selected aspects. *Educ Inf Technol (Dordr).* 1 de junio de 2024;29(9):11119-34.

13. Herman E. The Influence of ICT Sector on the Romanian Labour Market in the European Context. *Procedia Manuf.* 1 de enero de 2020;46:344-51.

14. Calderón-Gómez D, Casas-Mas B, Urraco-Solanilla M, Revilla JC. The labour digital divide: Digital dimensions of labour market segmentation. *Work Organisation, Labour and Globalisation.* 2020;14(2):7-30.

15. Pontones-Rosa C, Pérez-Morote R, Santos-Peñalver JF. ICT-based public policies and depopulation in hollowed-out Spain: A survey analysis on the digital divide and citizen satisfaction. *Technol Forecast Soc Change.* 1 de agosto de 2021;169.

16. Apolo D, Melo M, Solano J, Aliaga F. Pending issues from digital inclusion in Ecuador: challenges for public policies, programs and projects developed and ICT-mediated teacher training. *Digital Education Review [Internet].* 30 de junio de 2020 [citado 27 de diciembre de 2024];37(37):130-53. Disponible en: <https://revistes.ub.edu/index.php/der/article/view/30610>

17. Al-shehari T, Alsowail RA. An Insider Data Leakage Detection Using One-Hot Encoding, Synthetic Minority Oversampling and Machine Learning Techniques. *Entropy* 2021, Vol 23, Page 1258 [Internet]. 27 de septiembre de 2021 [citado 27 de diciembre de 2024];23(10):1258. Disponible en: <https://www.mdpi.com/1099-4300/23/10/1258/htm>

18. Mahmud Sujon K, Binti Hassan R, Tusnia Towshi Z, Othman MA, Abdus Samad M, Choi K. When to Use Standardization and Normalization: Empirical Evidence From Machine Learning Models and XAI. *IEEE Access [Internet].* 2024 [citado 27 de diciembre de 2024];12:135300-14. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10681438/>

19. Kumar S, Chong I. Correlation Analysis to Identify the Effective Data in Machine Learning: Prediction of Depressive Disorder and Emotion States. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 2018, Vol 15, Page 2907 [Internet]. 19 de diciembre de 2018 [citado 27 de diciembre de 2024];15(12):2907. Disponible en: <https://www.mdpi.com/1660-4601/15/12/2907/htm>

20. Jiayi J, Junyu Y, Tianjiao Z, Qian W. Intelligent evaluation method for design education and comparison research between visualizing heat-maps of class activation and eye-movement. *J Eye Mov Res [Internet].* 10 de octubre de 2024 [citado 27 de diciembre de 2024];17(2). Disponible en: <https://bop.unibe.ch/JEMR/article/view/10964>

21. Somvanshi M, Chavan P, Tambade S, Shinde S V. A review of machine learning techniques using decision tree and support vector machine. *Proceedings - 2nd International Conference on Computing, Communication, Control and Automation, ICCUBEA 2016.* 21 de febrero de 2017;

22. Rodriguez-Galiano V, Sanchez-Castillo M, Chica-Olmo M, Chica-Rivas M. Machine learning predictive models for mineral prospectivity: An evaluation of neural networks, random forest, regression trees and support vector machines. *Ore Geol Rev.* 1 de diciembre de 2015;71:804-18.

23. Vinuesa SF, Gallardo VP. Impacto de las TIC en la Educación Superior en el Ecuador. *Revista Publicando.* 30 de junio de 2017;4(11(1)):355-68.

24. Guerrero TSV, Bustamante SEE. Políticas educativas y Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC): una mirada al Ecuador. Dilemas contemporáneos: Educación, Política y Valores [Internet]. 1 de mayo de 2020

[citado 27 de diciembre de 2024]; Disponible en: <https://dilemascontemporaneoseduccionpoliticayvalores.com/index.php/dilemas/article/view/2329>

25. Martínez-Serrano MC. Percepción de la Integración y uso de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC). Estudio de Profesores y Estudiantes de Educación Primaria. Información tecnológica [Internet]. 1 de febrero de 2019 [citado 27 de diciembre de 2024];30(1):237-46. Disponible en: http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642019000100237&lng=es&nrm=iso&tlng=es

26. Berrett B, Murphy J, Sullivan J. Administrator Insights and Reflections: Technology Integration in Schools. The Qualitative Report [Internet]. 1 de enero de 2012 [citado 27 de diciembre de 2024];17(1):200-21. Disponible en: <https://nsuworks.nova.edu/tqr/vol17/iss1/10>

27. Matamala C. Desarrollo de alfabetización digital ¿Cuáles son las estrategias de los profesores para enseñar habilidades de información? Perfiles educativos. 2018;40(162):68-85.

28. Nyika GT. Use of ICTS for socio-economic development of marginalised communities in rural areas: Proposals for establishment of sectoral Rural Entrepreneurial Networks [Internet]. Vol. 7, Journal of Development and Communication Studies. 2020 [citado 27 de diciembre de 2024]. Disponible en: <http://www.devcomsjournalmw.org>

29. Braesemann F, Lehdonvirta V, Kässi O. ICTs and the urban-rural divide: can online labour platforms bridge the gap? Inf Commun Soc [Internet]. 2022 [citado 27 de diciembre de 2024];25(1):34-54. Disponible en: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/1369118X.2020.1761857>

30. Gonzalez DA, D'Antonio S, Maceiras A, Diaz Catalan C, Sadaba Rodriguez I. Types of older adults ICT users and the grey divide: attitudes matter. Revista de Cercetare si Interventie Sociala, ISSN-e 1584-5397, Vol 74, 2021, págs 120-137 [Internet]. 2021 [citado 27 de diciembre de 2024];74(74):120-37. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8053966&info=resumen&idioma=ENG>

31. Park JR, Feng Y. Trajectory tracking of changes digital divide prediction factors in the elderly through machine learning. PLoS One [Internet]. 1 de febrero de 2023 [citado 27 de diciembre de 2024];18(2):e0281291. Disponible en: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0281291>

32. Satria D, Handrito RP, Paksi GM, Aurellia PJ. Assessing the Importance of ICT on High-Educated Poverty in East Java Using Random Forest Methods. Statistika [Internet]. 2024 [citado 27 de diciembre de 2024];104(1):27-41. Disponible en: <https://csu.gov.cz/assessing-the-importance-of-ict-on-high-educated-poverty-in-east-java-using-random-forest-methods>

33. Prabawa WG, Nurmandi A, Misran, Subekti D. Innovation of Government's Policy for Bridging the Digital Divide: (Case Study in Malaysia and India). Communications in Computer and Information Science. 2023;1835 CCIS:246-53.

34. Shah A. Revolutionizing Connectivity: The BharatNet Scheme and Beyond. Vidhyayana - An International Multidisciplinary Peer-Reviewed E-Journal - ISSN 2454-8596. 3 de marzo de 2024;9.

35. Kattel R, Mergel I. Estonia's Digital Transformation: Mission Mystique and the Hiding Hand. Great Policy Successes [Internet]. 24 de octubre de 2019 [citado 27 de diciembre de 2024];143-60. Disponible en: <https://academic.oup.com/book/42635/chapter/358101931>

36. Mettenberger T, Binder J, Zscherneck J. Unveiling the Resources of Digital Pioneers: An Agency Perspective on Digital Social Innovation in Rural Germany. European Countryside. 1 de septiembre de 2024;16(3):412-36.

37. Tirado-Morueta R, Rodríguez-Martín A, Álvarez-Arregui E, Ortíz-Sobrino MÁ, Aguaded-Gómez JI. The digital inclusion of older people in Spain: technological support services for seniors as predictor. Ageing Soc [Internet]. 25 de junio de 2023 [citado 27 de diciembre de 2024];43(6):1409-35. Disponible en: <https://www.cambridge.org/core/journals/ageing-and-society/article/digital-inclusion-of-older-people-in-spain-technological-support-services-for-seniors-as-predictor/ADF5EC05F8FB28EC7FE89872E3581BDF>

38. Blanco Marigorta AM, Díaz Hernández A, García Moreno C, Mellín Yanez Zambrano P, Melián Martel N. ELIMU.

Supplying water and electricity to a primary school in Kenia using solar energy: Joint social project between the University of Las Palma de Gran Canaria and the University of Nairobi. Vicerrector de Internacionalización M y PI, editor. 1st Congress Bridge to Africa: Las Palmas de Gran Canaria. 2024;59-67.

39. Reyes O, Valdés-Rodríguez O. Logros y desafíos del Plan Ceibal. Revista Educarnos. 2021;

FINANCIACIÓN

Ninguna.

CONFLICTO DE INTERESES

Ninguno.

CONTRIBUCIÓN DE AUTORÍA

Conceptualización: Patricio Moreno-Costales.

Curación de datos: Gisel Bastidas-Guacho.

Análisis formal: Patricio Moreno-Vallejo, Gisel Bastidas-Guacho.

Investigación: Patricio Moreno-Costales.

Metodología: María Vallejo-Sanaguano.

Administración del proyecto: Patricio Moreno-Costales.

Recursos: Patricio Moreno-Vallejo, Patricio Moreno-Costales, María Vallejo-Sanaguano.

Software: Patricio Moreno-Vallejo, Gisel Bastidas-Guacho.

Supervisión: María Vallejo-Sanaguano.

Validación: Gisel Bastidas-Guacho.

Visualización: Patricio Moreno-Vallejo, Gisel Bastidas-Guacho.

Redacción - borrador original: Patricio Moreno-Vallejo, Gisel Bastidas-Guacho.

Redacción - revisión y edición: Patricio Moreno-Costales, María Vallejo-Sanaguano.

