

# Brecha digital y deserción escolar en la juventud: una aproximación desde la simulación basada en agentes (IA distribuida)

*Imanol Garnelo Pérez\**

## Resumen

Este estudio analiza la relación entre la brecha digital y la deserción escolar en jóvenes mediante un diseño transversal y no experimental que integra análisis cualitativos y formulación matemática, cuyo proceso da como resultado el desarrollo de un modelo computacional basado en inteligencia artificial distribuida (modelo multiagente). Con este modelo se ejecutan simulaciones cuyos resultados dependen de las condiciones parametrizadas para los actores emulados. Esta herramienta computacional permite explorar cómo las desigualdades en el acceso y uso de tecnologías influyen en las oportunidades educativas, la permanencia escolar y los procesos de identidad y agencia juvenil.

## Palabras clave

Brecha 📌 Deserción 📌 Juventud

## Abstract

This study analyzes the relationship between the digital divide and school dropout among young people through a cross-sectional and non-experimental design that integrates qualitative analyses and mathematical formulation, a process that results in the development of a computational model based on distributed artificial intelligence (multi-agent model). Based on this model, simulations are carried out whose conclusions derive from the emergent behavior of the emulated actors. This computational tool makes it possible to explore how inequalities in access to and use of technologies influence educational opportunities, school retention, and youth identity and agency processes.

## Key words

Divide 📌 Dropout 📌 Youth

\* Estudiante de Doctorado en Investigación Social Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales (FLACSO) México (imanol.garnelo@estudiante-flacso.mx).

## Introducción

**E**L PRESENTE trabajo se propone analizar y explicar el fenómeno de la deserción escolar en el marco de la brecha digital, identificando patrones y tendencias que permitan comprender su influencia como factor determinante en el abandono educativo. La brecha digital, íntimamente vinculada con dinámicas de exclusión y desigualdad social, abarca diversas dimensiones que resultan esenciales para evaluar su impacto tanto en la actualidad como en futuros contextos educativos.

En la era de las nuevas tecnologías de la información, resulta fundamental actualizar y profundizar las perspectivas sobre el efecto de los medios de comunicación en la percepción social y en la construcción del imaginario colectivo. Las plataformas virtuales, en particular, desempeñan un papel clave en la configuración de nuestras formas de pensar y, por ende, en la manera en que interactuamos con los demás.

En este sentido, más allá de los medios tradicionales como la prensa o la televisión, resulta fundamental analizar cómo los entornos digitales configuran las reacciones colectivas, al convertirse en espacios donde se movilizan emociones compartidas como el enojo, el miedo o la alegría frente a ciertos acontecimientos sociales. Estos procesos ilustran cómo lo digital no solo media la comunicación, sino que también moldea la agencia individual y colectiva.

Las formas digitales de interacción, cada vez más integradas en la vida cotidiana, influyen profundamente en las relaciones sociales y en la construcción de las identidades personales.<sup>1</sup> Este último aspecto adquiere particular relevancia durante la adolescencia y la juventud, etapas de transición entre la niñez y la adultez en las que el desarrollo identitario es especialmente sensible a las dinámicas sociales. En gran medida, estas identidades se construyen mediante infraestructuras tecnológicas que median y condicionan las experiencias personales y grupales, sobre todo, en un entorno cada vez más digitalizado.<sup>2</sup> En este sentido, la brecha digital deja de ser una carencia técnica aislada para convertirse en un componente central de la inequidad social contemporánea. Su impacto se agrava cuando interactúa con otras asimetrías estructurales, como las disparidades de género, la segregación territorial o la precariedad económica. Estas interacciones no solo limitan el acceso y uso efectivo de tecnologías, sino que inciden directamente en procesos críticos como el abandono escolar. Jóvenes en contextos de vulnerabilidad estructural (como zonas rurales desconectadas u hogares sin infraestructura digital) se ven forzados a desvincularse del sistema educativo al no contar con los recursos tecnológicos básicos para continuar con su formación (Pérez, 2024).

Por ello, resulta imprescindible reconsiderar la brecha digital, no como un simple efecto colateral de las diferencias educativas, sino como una variable determinante que puede provocar o, con su acumulación, consolidar procesos prolongados de marginalización escolar. En este contexto, el papel de la inteligencia artificial (IA) es especialmente relevante: su efectividad en entornos educativos depende del acceso y comprensión que los estudiantes tengan de las tecnologías digitales, de modo que quienes carezcan de habilidades y recursos adecuados podrían verse excluidos o en desventaja, mientras que quienes dominen estas herramientas podrán aprovecharlas como un instrumento educativo poderoso.

### Definición de deserción/abandono escolar

En este marco, es fundamental recuperar algunos conceptos clave para comprender en profundidad el fenómeno que nos ocupa. Uno de ellos es el de deserción escolar, entendida como el retiro o interrupción definitiva de los estudios antes de completar un ciclo educativo. Lejos de ser únicamente un indicador de fracaso académico, la deserción constituye un fenómeno complejo, influido por múltiples factores de carácter socioeconómico, familiar, cultural y estructural. Se trata, en realidad, de un proceso marcado por una serie de eventos y experiencias que afectan a los jóvenes durante su trayectoria formativa (Otero y otros, 2022).

Frente a ello, es fundamental diferenciar la deserción del abandono escolar, dado que ambos conceptos suelen emplearse de manera indistinta, aunque remiten a hechos discordantes. La deserción, como se ha señalado previamente, es romper de manera crucial el vínculo con el sistema educativo y se entiende como la salida permanente del estudiante antes de concluir el ciclo escolar correspondiente (Tinto, 1993; Rumberger, 2011). En cambio, el abandono no necesariamente implica una desvinculación total del sistema educativo: puede manifestarse de manera temporal o parcial, asociándose a pausas breves en la asistencia escolar, inasistencias prolongadas o trayectorias discontinuas que no conducen automáticamente a una salida definitiva del sistema escolar (Plasencia Díaz, 2020).

Entre las condiciones estructurales que intervienen en estos procesos, destaca la falta de acceso a recursos digitales, un factor cada vez más relevante en un contexto de creciente digitalización de los mecanismos de enseñanza.<sup>3</sup>

### Brecha digital y Juventudes

Por otro lado, en 2001 Pippa Norris identificó tres tipos de brechas digitales global, social y democrática fundamentándose en la teoría de difusión de innova-

ciones de Everett Rogers (Van Dijk, 2020). Según esta teoría, las innovaciones se propagan en la sociedad a través de procesos de comunicación, siendo adoptadas más rápidamente por ciertos individuos, como los innovadores y los primeros adoptantes, y más lentamente por otros, como la mayoría tardía y los rezagados. Esta dinámica permite comprender cómo el acceso, la adopción y el uso de tecnologías digitales se distribuyen de manera desigual. Así, la brecha digital global refleja las diferencias entre países industrializados y en desarrollo, afectando la infraestructura tecnológica y el acceso a la educación en línea; la brecha social se observa entre ricos y pobres dentro de un mismo país, condicionando la disponibilidad de dispositivos, la conectividad y las competencias digitales; y la brecha democrática se evidencia entre quienes utilizan internet para participación cívica y educativa y quienes no, determinando la capacidad de aprovechar herramientas digitales para el aprendizaje y la vinculación escolar. En este contexto, la brecha digital puede generar un distanciamiento en el involucramiento escolar y en el acceso a los recursos de aprendizaje, lo que incrementa el riesgo de deserción escolar y de sus formas parciales, como el abandono temporal o intermitente. Para los fines de la simulación, se optó por centrarse en la deserción definitiva (ya que, a diferencia del abandono temporal, constituye un estado estable y no un proceso de cambio continuo). La falta de acceso adecuado a tecnologías y plataformas educativas puede generar una desconexión entre los estudiantes y en el desarrollo escolar, limitando su participación activa y dificultando su integración en el entorno académico. Esto, a su vez, favorece la deserción escolar, ya que aquellos que no pueden acceder a los recursos digitales o que experimentan dificultades para adaptarse al entorno virtual se enfrentan a obstáculos adicionales en su continuidad educativa.

La metamorfosis de la brecha digital se encuentra en una encrucijada, donde la irrupción de las inteligencias artificiales redefine los parámetros del acceso y la participación. Es crucial entender que esta fractura ya no se limita a la mera posesión de un dispositivo o una conexión a la red, sino que ahora se amplía a la capacidad de aprovechar el potencial de los nuevos sistemas de cognición artificial. Por ejemplo, la maestría en el uso de herramientas de IA generativa para la creación de contenido, la optimización de procesos o la toma de decisiones estratégicas se transforma en un nuevo activo social. Aquellos individuos que no dispongan de la formación o los recursos para interactuar con estas plataformas corren el riesgo de quedar marginados, no solo en el ámbito laboral, sino en la capacidad de generar conocimiento e incidir en los debates colectivos.

Por ello, resulta imperativo replantearse el factor de las tecnologías digitales, no solo las anteriores, sino también cómo estas herramientas emergentes son clave en

la relación entre la brecha y la deserción escolar. En este contexto, el papel de la IA se vuelve fundamental, ya que su uso inadecuado o su inaccesibilidad puede causar un distanciamiento en la interacción escolar y en el acceso a la información, lo que, a su vez, agrava el riesgo de interrupción total de la trayectoria educativa.

La deserción escolar, entonces, no solo está determinada por factores socioeconómicos, familiares o culturales, sino también por la creciente centralidad que han adquirido la integración de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) en la educación. Cuando estas herramientas se encuentran fuera del alcance de una parte importante del estudiantado, no solo se dificulta su participación escolar, sino que además se profundizan las asimetrías existentes (Otero y otros, 2022).<sup>4</sup> En este sentido, también resulta esencial abordar el tercer concepto clave adicional: definir con claridad qué se entiende por “juventud” en este estudio, especialmente considerando los desafíos que enfrentan las y los jóvenes en la actualidad, como la brecha digital y el riesgo de deserción escolar, así como la interacción con la IA y su incorporación en los procesos de aprendizaje, acceso a información y desarrollo de competencias digitales.

En México, el Instituto Mexicano de la Juventud (IMJUVE) define este periodo entre los 12 y 29 años; sin embargo, la juventud no debe considerarse solo una cuestión etaria (Instituto Mexicano de la Juventud, 2017). Este concepto varía dependiendo de factores como el contexto social, cultural y económico. Cada sociedad construye su propia noción de juventud, influenciada por aspectos como la clase social, la educación y el entorno.<sup>5</sup>

### La brecha digital de primer orden como condición inicial

Para comprender de manera adecuada la relación entre la exclusión juvenil y las desigualdades tecnológicas, resulta imprescindible profundizar en el concepto de brecha digital desde la perspectiva de la interacción directa de los usuarios con la tecnología. Aunque este enfoque ha sido abordado de manera reiterada, constituye un elemento central en este manuscrito desde este nivel de análisis, especialmente en su formulación más básica: la brecha de primer orden. Esta se refiere a las diferencias en el acceso físico a las TICs, incluyendo computadoras, teléfonos móviles, tabletas, conexiones a internet y plataformas digitales fundamentales, como redes sociales, correo electrónico y servicios de mensajería, las cuales condicionan las posibilidades de aprendizaje y participación de los jóvenes en un mundo cada vez más digitalizado.

La brecha digital de primer orden se refiere al acceso tangible, que va más allá de simplemente poseer un dispositivo. Incluye también contar con condiciones

materiales y contextuales esenciales, como una conexión estable a internet, el uso de aplicaciones necesarias y pertenecer a plataformas digitales relevantes. Por ejemplo, un joven que tiene un teléfono inteligente, pero solo puede conectarse a redes WiFi-públicas intermitentes, sin acceso a datos móviles ni internet en casa, enfrenta una brecha digital de primer orden. Esta limitación condiciona su participación en espacios digitales, como clases en línea, redes sociales o trámites virtuales, demostrando nuevamente que disponer de un dispositivo no es suficiente, sino que resulta indispensable contar con conectividad y recursos adecuados para aprovechar plenamente las posibilidades que ofrece la tecnología (Van Dijk, 2020, p. 50).

El acceso limitado o inexistente a estas innovaciones digitales representa una barrera para ejercer una ciudadanía plena en un entorno crecientemente computarizado. Además, esta desigualdad tecnológica tiende a reforzar y amplificar otras formas de desigualdad ya existentes, como las vinculadas al origen socioeconómico, el género, la etnicidad o el territorio. Es necesario reconocer que la brecha digital está entrelazada con estructuras históricas de exclusión que deben ser abordadas de forma integral. Por ejemplo, una joven indígena que vive en una zona rural puede tener acceso limitado a internet debido a la falta de infraestructura. Pero, además, enfrenta barreras culturales, económicas y de género que hacen que ese acceso, aunque exista, no se traduzca en un uso significativo.

Sumado a ello, resulta pertinente construir una tipología de este fenómeno que trascienda su condición inicial. En este sentido, la distinción entre brecha digital de primer orden (referida al acceso físico a las tecnologías), segundo orden (vinculada al uso, desarrollo de habilidades y aprovechamiento) y tercer orden (relativa a los resultados tangibles obtenidos) permite comprender con mayor profundidad sus diferentes dimensiones. Esta clasificación se representa de forma esquemática en el Anexo 1, donde se ilustran los distintos grados y sus implicaciones sociales.<sup>6</sup> La brecha digital se ramifica con el avance de tecnologías como los sistemas inteligentes, generando nuevas formas de desigualdad.

Un ejemplo específico es la tutoría inteligente. En la actualidad, hay sistemas de IA que pueden actuar como tutores virtuales, analizando el rendimiento de un estudiante para identificar sus debilidades y proporcionar ejercicios personalizados para fortalecer sus conocimientos. La brecha digital surge cuando este tipo de herramientas de aprendizaje avanzado están fuera del alcance de estudiantes con acceso limitado a dispositivos de última generación o a una conexión a internet de alta velocidad, lo que les impide beneficiarse de una educación individualizada que podría ser crucial para su éxito académico (Kouam, 2024).

## La brecha digital como expresión de vulnerabilidades de fondo

En la misma línea, este análisis debe considerar los procesos de vulnerabilidad en su vínculo con el abandono escolar y las diversas manifestaciones de exclusión educativa y social. La vulnerabilidad, entendida como la exposición de ciertos grupos sociales a riesgos acumulativos que limitan su acceso a derechos y oportunidades, no es una condición única ni estática; adopta múltiples formas que emergen en poblaciones heterogéneas, diferenciadas tanto por características observables como por trayectorias y experiencias no visibles (Martínez y Tafur, 2022).

Como se sintetiza en el Anexo 2 estos factores como el nivel socioeconómico, la localización geográfica, la composición del hogar o la agresión configuran un entramado de desigualdades que afectan directamente en las oportunidades de continuidad escolar. La representación permite visualizar cómo dichas condiciones operan como determinantes de la exclusión digital, y cómo esta, a su vez, se traduce en mayores probabilidades de deserción o abandono educativo. En este contexto, se parte del supuesto de que la brecha digital puede convertirse en un punto de inflexión decisivo en la trayectoria educativa de los jóvenes. Para algunos, podría representar el factor que detona el abandono escolar; para otros, puede no tener ese efecto o bien, estar condicionado por otros factores estructurales ya identificados como los más relevantes, por lo que no actúa como la variable principal. Bajo este esquema, a medida que se han difundido estadísticas actualizadas sobre pobreza multidimensional en diversos países de América Latina durante 2021, las advertencias del Banco Interamericano de Desarrollo (BID) han comenzado a concretarse. Tras casi cinco años desde el inicio de la pandemia (considerando que sus efectos sociales y educativos siguen siendo palpables más allá de su fase aguda), y a pesar de los esfuerzos gubernamentales por asegurar la continuidad de los servicios educativos mediante plataformas digitales, contenidos multiformato, redes sociales, mensajería instantánea, televisión o radio, muchas de estas estrategias aún no logran llegar efectivamente a los estudiantes en condiciones de mayor vulnerabilidad (Martínez y Tafur, 2022). Antes del COVID-19, el acceso a dispositivos, recursos y contenidos digitales era un privilegio al que pocos estudiantes de poblaciones vulnerables en América Latina podían acceder. A pesar de los avances en infraestructura y de los programas de inclusión digital implementados desde hace décadas por los gobiernos de la región, estos esfuerzos han resultado insuficientes para contrarrestar los efectos que la pandemia tuvo sobre las brechas de acceso digital; en algunos casos, incluso los han agravado. Según lecturas realizadas en 2021, los expertos advierten que, sin medidas urgentes, la región podría enfrentar una generación perdida, comparable a la de países afectados por años de guerra.

Así, la brecha digital, que ya existía antes de la pandemia, se profundizó durante esta crisis sanitaria, y sus consecuencias continúan manifestándose en la actualidad y se extenderán hacia el futuro (Martínez y Tafur, 2022).

Esta complejidad se ha visto ampliada con el surgimiento y la integración de las inteligencias artificiales generativas, como los modelos de lenguaje de gran escala (LLM) tipo ChatGPT, Deepseek y Gemini, que han ganado importancia de manera secuencial y asincrónica tras el auge de la pandemia. Estas nuevas formas de IA complementan las tecnologías existentes para su uso en diversas áreas y se han vuelto alcanzables tanto en el espacio formativo institucional como en entornos no formales; por ejemplo, la irrupción de herramientas de IA generativa (como ChatGPT) ha transformado radicalmente los entornos educativos, generalizando su uso en tareas escolares (Tzirides y otros, 2023).

A pesar de su masificación, el modo en que los usuarios adoptan y reinterpretan estas tecnologías sigue anclado en los procesos de la brecha digital y en las vulnerabilidades preexistentes.

## Multiagentes

Para analizar la compleja dinámica de la brecha digital y la deserción escolar, este estudio se apoya en los sistemas multiagentes (MAS). Esta aproximación, una rama de la inteligencia artificial distribuida, modela fenómenos sociales a través de la interacción de numerosas entidades autónomas e interdependientes. En lugar de simular un proceso desde una perspectiva global, los MAS permiten observar cómo la “inteligencia colectiva” emerge de comportamientos y reglas simples a nivel individual.

Los agentes en estos sistemas se caracterizan por cuatro atributos principales: son autónomos (actúan sin control externo), interactivos (se comunican con su entorno y con otros agentes), reactivos (detectan cambios en su ambiente y responden) y proactivos (inician acciones para alcanzar metas). En este modelo, los agentes representan a los estudiantes, lo que permite recrear la diversidad de perfiles y las dinámicas de interacción entre ellos. Esta metodología resulta fundamental para analizar cómo el acceso desigual a recursos tecnológicos (la brecha digital) incide directamente en el comportamiento de los individuos simulados y en los patrones de deserción escolar (Miguel y Hassan, 2012).

En este contexto, la brecha digital se ha ampliado recientemente debido a la integración de la IA en los entornos educativos, generando nuevas desigualdades en el acceso, manejo y aprovechamiento de estas herramientas tecnológicas por parte de los estudiantes. Dicho fenómeno no solo constituye una parte crucial de nuestra problemática de investigación, sino que también ofrece un enfoque metodológico

para nuestro análisis. La IA colectiva es una herramienta poderosa que nos permitirá comprender la profundidad de este fenómeno, no solo de manera conceptual, sino también a través de su ejercicio como herramienta. Mediante su aplicación, podemos reproducir la diversidad de escenarios de acción para los estudiantes a través de ejercicios de iteración computacional, lo que nos permite trascender los modelos discretos para operar con una lógica continua, brindando un poder predictivo clave para nuestra investigación.

## Metodología: modelo de simulación en NetLogo<sup>7</sup>

Se propone un modelo basado en ecuaciones diferenciales ordinarias (EDO) y patrones de interacción de red, implementado en el entorno de NetLogo, con el fin de representar las dinámicas de la brecha digital y su efecto sobre la deserción escolar. Se modela una población de agentes que puede adoptar tres estados: “con brecha” (x), “sin brecha” (y) y “uso moderado” (z), cada uno representando distintos niveles de acceso y dominio tecnológico influenciados por factores sociales, personales y educativos. Las dinámicas de cambio entre estos estados se formalizan mediante este sistema de EDO que, posteriormente, se integra y operacionaliza en el entorno de simulación. En este modelo,  $\alpha$  representa la tasa de ingreso escolar;  $\beta$  corresponde a la deserción estructural por factores no tecnológicos;  $\gamma$  capta la deserción asociada específicamente a desigualdades digitales y al acceso diferenciado a tecnologías e IA; y  $\delta(u+v)$  expresa el efecto positivo del apoyo social y familiar. Este enfoque constituye un modelo abstracto, inspirado en trabajos previos que utilizan simulación basada en agentes para estudiar deserción escolar y dinámicas juveniles (Schuhmacher, Ballato y van Geert, 2014; Paz, 2025). A partir de estos antecedentes, el modelo se construye como una estructura conceptual que integra la desigualdad tecnológica, los factores estructurales y los apoyos sociales, incorporando tanto la agencia personal de los jóvenes en edad estudiantil como la agencia colectiva de sus redes y entornos educativos. A continuación, se presenta la formulación matemática:

$$\frac{dx}{dt} = \alpha x - \beta x - \gamma xy - \delta(u+v) \quad (1)$$

$$\frac{dy}{dt} = \alpha y - \beta y + \gamma xy - \delta(u+v) \quad (2)$$

$$\frac{dz}{dt} = \alpha z - \beta z + \delta(u+v) \quad (3)$$

## Pregunta de investigación

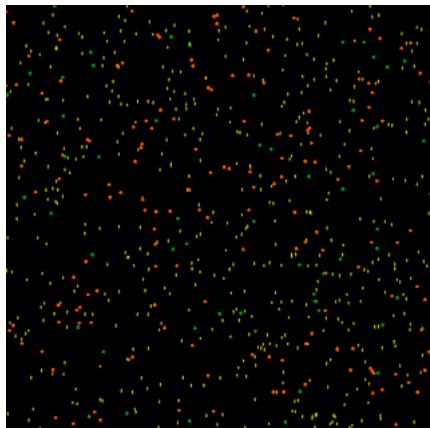
En relación con nuestra problematización, podemos plantearla de la siguiente manera:

¿Qué ventajas ofrece simular, mediante un modelo computacional basado en agentes (IA colectiva), las dinámicas complejas de interacción entre distintos perfiles estudiantiles y el impacto de la brecha digital en la deserción escolar, al representarlas de forma continua, iterativa y con elementos aleatorios, en lugar de abordarlas de manera discreta y estática?

## Descripción del Modelo de Simulación en NetLogo

Como se adelantó en el apartado metodológico, este modelo de simulación, construido a partir de un sistema de EDO e implementado en NetLogo, fue diseñado para explorar la dinámica de una red de agentes. Cada agente posee un estado definido por el marco conceptual del proyecto y pertenece a una de las tres categorías previamente explicadas: “con brecha”, “sin brecha” o “uso moderado”. Estas categorías no solo orientan el comportamiento de los agentes dentro de la simulación, sino que también se representan visualmente mediante colores y formas específicas para facilitar su análisis. En la representación gráfica, los puntos verdes corresponden a estudiantes con perfil de brecha digital, los naranjas a estudiantes sin brecha digital y los amarillos a estudiantes con uso moderado de tecnologías digitales (véase Figura 1, que muestra la red de agentes inicial con categorías asignadas).

Figura 1: Red de agentes inicial con categorías asignadas en la simulación.



Fuente: Elaboración propia.

La simulación se ejecuta en pasos discretos llamados “ticks”, que pueden representar días, meses o años. Para una descripción resumida de las funciones principales del programa, remítase a la Tabla 1 del Anexo 3.

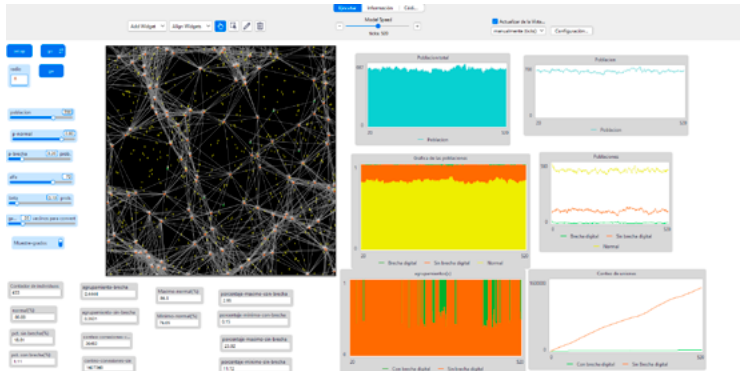
Además, la simulación permite evaluar el coeficiente de agrupamiento local promedio y cuantificar el número de triángulos formados en función de las conexiones entre los nodos (estudiantes) y los enlaces (sus relaciones de interacción escolar), lo que facilita analizar el tipo de red y la cohesión de cada grupo.

### Simulación de matrícula y brecha digital juvenil

Las simulaciones se basan en la evolución histórica de las tasas de matrícula de secundaria y educación media superior (EMS) en México durante el periodo 2001–2018 (Heros Rondén, Zurita Rivera y Valenti Nigrin, 2020), el cual constituye el intervalo empírico utilizado para derivar los parámetros del modelo (véase Anexo 4). Este conjunto de datos permite identificar fases de crecimiento (2001–2008), estabilidad relativa (2009–2014) y rezagos o caídas pronunciadas (2015–2018). No es posible determinar en qué medida los cambios observados en las tasas de matrícula estuvieron asociados a la integración tecnológica o al uso de herramientas de IA en los entornos educativos; sin embargo, la simulación permite incorporar de manera hipotética su efecto para evaluar cómo podría influir sobre la deserción escolar y la permanencia de los estudiantes, considerando que herramientas generativas de amplio uso, como ChatGPT, fueron desarrolladas mucho después de este periodo, con su lanzamiento en noviembre de 2022 (Inviai, 2023). Por ello, la dimensión tecnológica se incluye en la simulación mediante la parametrización de  $\gamma$ , que representa el número mínimo de agentes cercanos sin brecha necesarios para que un estudiante con brecha digital modifique su comportamiento. La proporción inicial de estudiantes con brecha (p-brecha) refleja la desigualdad de acceso a tecnologías y herramientas digitales, incluyendo la IA. Combinando p-brecha y la distancia de interacción (radio), se puede evaluar cómo la estructura de la red influye en la deserción y en la transición hacia estudiantes sin brecha. Variando  $\gamma$  se analiza cómo cambia el comportamiento del sistema debido a la influencia de los agentes cercanos sobre la brecha digital. Esta interacción es hipotética, ya que nuevamente no se dispone de información sobre su funcionamiento en el periodo 2001–2018 y únicamente se simula dentro del modelo. En este sentido, las simulaciones no reproducen únicamente los patrones históricos, sino que extienden ese comportamiento para evaluar escenarios donde la desigualdad tecnológica adquiere un papel explícito en la permanencia escolar. Para consultar la diversidad de escenarios empleados, véase la Tabla 2 correspondiente (Anexo 5), así como las Figuras, donde se presentan las imágenes de cada caso.

El primer escenario reproduce el crecimiento histórico de la matrícula en secundaria y EMS durante 2001–2008, integrando la variante tecnológica y el efecto de la brecha digital. Este escenario muestra cómo un bajo nivel de brecha digital y buena conectividad permite un aumento sostenido de estudiantes (véase Figura 2).

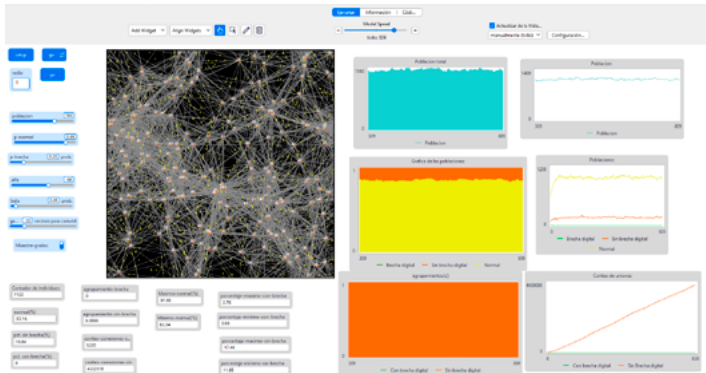
Figura 2. Crecimiento histórico de la matrícula con integración tecnológica simulada.



Fuente: Elaboración propia.

El segundo escenario aborda la estabilidad relativa de la matrícula durante 2009–2015, manteniendo el comportamiento empírico mientras se evalúa cómo se modificaría bajo los parámetros tecnológicos. La proporción de estudiantes con brecha digital sigue siendo baja, y la red de interacciones mantiene la cohesión social (véase Figura 3).

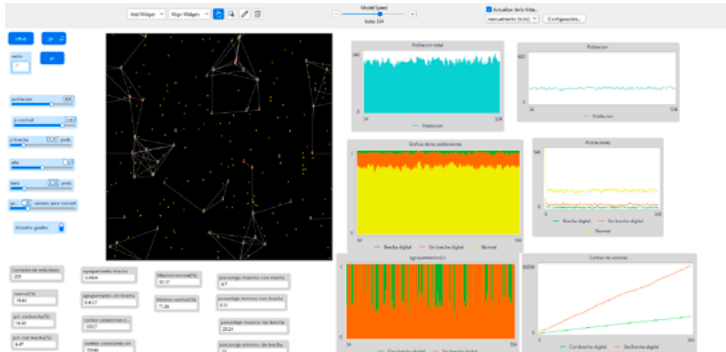
Figura 3. Estabilidad relativa de la matrícula con parámetros tecnológicos simulados.



Fuente: Elaboración propia.

El tercer escenario retoma el rezago y la caída en la matrícula durante 2016–2018, reproduciendo la tendencia real junto con la activación del efecto  $\gamma$  asociado a desigualdad tecnológica. Algunos grupos de estudiantes experimentan abandono focalizado y segregación en redes de apoyo (véase Figura 4).

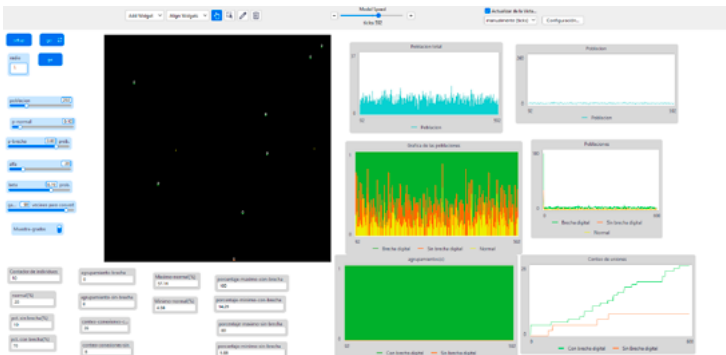
Figura 4. Rezago y caída de la matrícula con influencia de la brecha digital simulada.



Fuente: Elaboración propia.

El cuarto escenario desarrolla un caso predictivo de colapso educativo, extendiendo el modelo más allá de los patrones históricos para observar el impacto potencial de la brecha digital y la IA en condiciones críticas. La alta proporción de estudiantes con acceso limitado a tecnologías genera estancamiento o disminución de la matrícula y abandono focalizado (véase Figura 5).

Figura 5. Escenario predictivo de colapso educativo con brecha digital y acceso limitado a IA.



Fuente: Elaboración propia.

## Reflexiones finales (posibles escenarios)

El análisis del impacto de la brecha digital en la deserción escolar muestra que las desigualdades tecnológicas (históricamente entrelazadas con condiciones económicas, sociales e institucionales) han limitado de manera persistente el acceso a oportunidades educativas y laborales, especialmente entre la juventud en América Latina. La brecha digital no se reduce a la falta de dispositivos o conectividad, sino que expresa desigualdades estructurales que condicionan el desarrollo académico, el acceso al capital cultural y la permanencia escolar. La pandemia de COVID-19 acentuó esta relación: la digitalización acelerada y la introducción masiva de herramientas tecnológicas y plataformas con componentes de IA evidenciaron que la falta de acceso y de competencias digitales incrementa de forma relevante el riesgo de abandono (Vanegas Giraldo, 2025).

La variación de los parámetros permite reproducir las fases históricas (2000–2008, 2009–2014 y 2015–2018) e integrar, además, escenarios simulados donde la brecha digital y la IA modifican el comportamiento dinámico del sistema. Se seleccionaron dos escenarios que simulan crecimiento y decrecimiento de la matrícula, basados en las tendencias históricas observadas. Estos escenarios permiten modelar los procesos de manera continua a lo largo de más unidades de tiempo, integrando variables como la brecha digital y el acceso a IA, pero sin alterar significativamente los patrones de crecimiento o decrecimiento subyacentes. Así, se reflejan comportamientos consistentes con las tendencias observadas, mientras que el modelo también posibilita explorar escenarios más extremos en los que estas variables pueden generar cambios drásticos, incluyendo el colapso total del sistema educativo o, en sentido contrario, su recuperación, así como las series de gradaciones y combinaciones posibles.

A continuación, se describen con mayor profundidad dos escenarios teóricos previamente mencionados, reproducidos con las variables de tecnología integradas, tal como se muestra en las Figuras 2 y 3. Estos escenarios no solo se consideran plausibles, sino que también permiten realizar análisis pertinentes e interesantes:

Escenario optimista (Histórico - Crecimiento): Para reproducir el escenario de crecimiento histórico de la matrícula en secundaria y EMS durante 2001-2008, se simularon 96 “ticks” (equivalentes a 96 meses, es decir, 8 años), permitiendo que el modelo evolucione siguiendo las tendencias observadas en dicho periodo. Los parámetros del modelo se fijan de acuerdo con las operaciones matemáticas y las formulaciones del sistema, garantizando consistencia interna en todas las variables. La creación de agentes ( $\alpha$ ) se mantiene alta (70-100), la deserción estructural ( $\beta$ ) es mínima (0–10%), y la inclusión digital y acceso a IA ( $\gamma$ , en conjunto con p-brecha) se operacionaliza como un umbral de vecinos dentro de la simulación.

En este modelo,  $\gamma$  representa el número mínimo de vecinos (“vecino” = otro estudiante con quien interactúa digitalmente) con los que un estudiante debe estar conectado para considerarse “integrado digitalmente”. Por ello, no corresponde a unidades reales, sino a una escala interna del modelo que define cuánta interacción digital (o exposición a tecnologías de IA) es necesaria para influir en su comportamiento dentro del sistema. La proporción de estudiantes con brecha digital ( $p$ -brecha) se ajusta entre 0 y 20 % de manera matemática para reproducir un crecimiento continuo en la matrícula, aunque en la realidad la brecha tecnológica es mayor (43.9 %; *The Mexico City Post*, 2025). Se observará que, al aproximar este valor a un nivel más realista, los resultados de la simulación reflejarán un descenso en la matrícula y un aumento en la deserción estudiantil. Sin embargo, no existe todavía un porcentaje claramente establecido sobre la “brecha en IA”, pues los estudios disponibles solo reportan indicadores institucionales y no de acceso real; por ejemplo, La Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) señala que menos del 10 % de escuelas y universidades cuentan con lineamientos formales sobre IA, lo que evidencia la ausencia de métricas consolidadas sobre desigualdad en el acceso a estas tecnologías (UNESCO, 2023).

Se utilizaron estos datos de matrícula porque reflejan una tendencia histórica de crecimiento sostenido del estudiantado y permiten simular distintos escenarios de brecha, entendida no solo como acceso desigual a tecnologías, sino también como un indicador aún no completamente documentado en su conjunto. Este enfoque permite inferir de manera indirecta ciertos patrones de deserción escolar: en los periodos con mayor expansión de la matrícula, la proporción de abandono suele ser menor, mientras que disminuciones o estancamientos en el crecimiento tienden a asociarse con aumentos en la deserción, un fenómeno que efectivamente se observa en la práctica. Asimismo, se confirma que estos patrones pueden ser reproducidos mediante los MAS. El radio de vecinos alto (8–10) representa la influencia de pares y la cohesión en la red social de estudiantes, reforzando la interacción entre los agentes y la estabilidad del sistema. Este parámetro, al igual que los otros descritos, se ajusta para reproducir en el modelo un crecimiento de matrícula similar al observado durante ese periodo de tiempo. En lo ideal, estas cantidades deberían mantenerse en su conjunto y de manera aproximada para continuar observando una tendencia positiva.

Escenario crítico de brecha digital (Histórico – Rezago): En el escenario crítico de brecha digital, correspondiente al periodo histórico de rezago y desaceleración educativa en secundaria y EMS durante 2016–2018 (36 “ticks”), la creación de agentes es media ( $\alpha = 50\text{--}70\%$ ), la deserción estructural sigue siendo baja ( $\beta = 0\text{--}5\%$ ), y la integración digital por pares ( $\gamma$ ) se encuentra en niveles limitados

(0–25, índice definido por la simulación), con un radio medio de interacción entre agentes cercanos, reflejando un acceso parcial a herramientas digitales y a IA; se requieren más redes de integración digital a menor alcance. La proporción de estudiantes con brecha digital (p-brecha) se ajusta entre 0–20 %, es decir, aproximadamente la mitad del nivel observado en la realidad empírica del país, sin considerar aún la disponibilidad limitada de tecnologías basadas en IA. Esta situación resulta particularmente preocupante, ya que, si bien el modelo ya plantea un escenario hipotético negativo, la realidad podría ser todavía más desfavorable. De manera similar, la limitada disponibilidad de tecnologías basadas en IA se modela tomando como referencia esta proporción, aunque su valor exacto se desconoce.

En este escenario, la matrícula total crece lentamente o se mantiene estancada, mientras que ciertos grupos de estudiantes presentan abandono focalizado, lo que genera segregación en las redes de apoyo, retrasos en el aprendizaje y permanencia desigual. Esto permite simular de manera realista cómo la brecha digital afecta la deserción y la cohesión educativa (escenario que parecería ajustarse al México actual).

El modelo emula cómo la desigualdad tecnológica impacta la permanencia escolar al comparar escenarios contrastantes. En el periodo de crecimiento histórico (2001–2008), la simulación reproduce un aumento sostenido de matrícula a partir de los datos históricos, pero muestra que para que este crecimiento se mantenga no basta con una menor brecha digital: también deben cumplirse ciertos niveles en otros indicadores estructurales. En este escenario, los agentes con buena conectividad y acceso a IA reflejan cómo la integración tecnológica podría potenciar la permanencia escolar de manera hipotética, de igual modo que señalan Barragán y Guzmán (2025). Por el contrario, en el escenario crítico de brecha digital, la alta proporción de estudiantes con acceso limitado a tecnologías e IA genera estancamiento o disminución de la matrícula, abandono focalizado y segregación en redes de apoyo, evidenciando los riesgos asociados a la desigualdad tecnológica. Esta comparación resalta que la capacidad de los estudiantes para interactuar con sus pares y con herramientas digitales, reflejada en parámetros como  $\gamma$  y el radio de vecinos, condiciona directamente la cohesión social y la estabilidad del sistema educativo (Pan y otros, 2024). La simulación basada en agentes (IA distribuida) permite así no solo reproducir patrones históricos, sino anticipar los efectos negativos de la brecha digital; sin embargo, es innegable que el modelo es de naturaleza determinista, ya que las ecuaciones diferenciales y las reglas de interacción generan resultados predecibles a partir de los parámetros iniciales y no incorporan fluctuaciones inherentes al comportamiento individual de los estudiantes. Sin embargo, entre sus ventajas destaca la capacidad no solo de reproducir escenarios pasados e integrar variables en su construcción, sino también de plantear múltiples escenarios teóricos.

## Notas

1. El estudio de los medios de comunicación examina su papel esencial en el progreso humano, abarcando desde la imprenta hasta las plataformas digitales contemporáneas. Los medios constituyen instrumentos para difundir información entre personas o colectivos, influyendo en la configuración del pensamiento y en la interacción social a lo largo de la historia. Las tecnologías vinculadas a los medios, como la web y la inteligencia artificial (IA), resultan determinantes en la captación y procesamiento de información, así como en el aprendizaje dentro de un entorno digital interconectado (McLuhan, 1964).
2. El presente estudio se enfoca en las juventudes, especialmente en México, y su vinculación con las desigualdades sociales, donde la brecha digital representa una forma particular de disparidad vinculada al excedente social. La noción de excedente social se refiere a los recursos disponibles para la acumulación y el desarrollo personal, como el capital educativo o laboral, que pueden verse limitados por la falta de acceso o habilidades en el uso de tecnologías digitales. Esta fragmentación se refleja en cómo la digitalización impacta los procesos educativos y laborales de los jóvenes: quienes tienen acceso limitado a dispositivos o bajas competencias digitales enfrentan barreras significativas para aprovechar las oportunidades que ofrece la sociedad digital. Paradójicamente, las juventudes más implicadas en la interacción digital son también las más afectadas por las asimetrías en el acceso a tecnologías.
3. Complementariamente, resulta útil incorporar el concepto de vínculo de escolarización, que permite superar el enfoque dicotómico de estar o no estar escolarizado. Esta noción ofrece una perspectiva más amplia sobre las formas en que los estudiantes se relacionan con la escuela, considerando situaciones intermedias y dinámicas, como el fenómeno del “desenganche”. Este último se refiere a trayectorias educativas fragmentadas o discontinuas, una idea central en el texto de Saraví (2015), porque constituye la base teórica para entender cómo los estudiantes se desconectan parcialmente de la escuela sin llegar a desertar, propias de muchas juventudes actuales, cuyas experiencias escolares se ven condicionadas por factores materiales y simbólicos de exclusión, entre los que destaca una disposición desigual frente a las tecnologías digitales. No obstante, este desenganche se aplica principalmente al abandono temporal o parcial, caracterizado por una participación irregular, y no necesariamente a la deserción definitiva, que implica, como ya se ha mencionado, la ruptura total del nexo con la institución escolar (Otero y otros, 2022).
4. Un ejemplo concreto de esta articulación entre proceso educativo y herramientas digitales se encuentra en el estudio de Jiménez Porta y Diez-Martínez Day

- (2021), quienes analizaron 20 aplicaciones y videojuegos diseñados para apoyar el aprendizaje inicial de la lectura en español. Las autoras identificaron elementos de accesibilidad técnica (como instrucciones visuales, opciones de idioma y retroalimentación) y su relación con habilidades cognitivas clave, como la conciencia fonológica y los principios del alfabeto, lo cual ilustra cómo la calidad del contenido digital puede impactar los procesos de apropiación educativa.
5. Persistir en una visión reduccionista basada exclusivamente en factores biológicos o psicológicos limita la posibilidad de comprender de manera integral a los jóvenes contemporáneos. Además, este enfoque contribuye a reproducir relaciones de poder asimétricas entre las juventudes y el mundo adulto.
  6. Tradicionalmente, los estudios sobre la brecha digital se han centrado en las desigualdades en el acceso y uso de internet, basándose en variables estructurales como el nivel educativo, la ocupación, la edad, el género, los ingresos y la ubicación geográfica. A partir de este enfoque, investigaciones más recientes han propuesto una tercera dimensión vinculada con la brecha digital política, la cual ha sido especialmente desarrollada desde el campo de la ciencia política. Esta perspectiva trasciende el acceso físico o el uso técnico de las TIC e incorpora aspectos como el interés por los asuntos públicos, la confianza en las instituciones y la disposición para participar en procesos cívicos y deliberativos en entornos digitales, lo que evidencia el carácter interdisciplinario del estudio de la brecha digital (Robles y otros, 2012).
  7. La influencia de los modelos científico-naturales en la teoría macrosociológica ha permitido la formalización matemática de fenómenos sociales. En esta línea, la simulación social basada en agentes se ha consolidado como una herramienta clave para analizar dinámicas sociales complejas, permitiendo estudiar interacciones y comportamientos emergentes en distintos contextos (Miguel y Hassan, 2012).

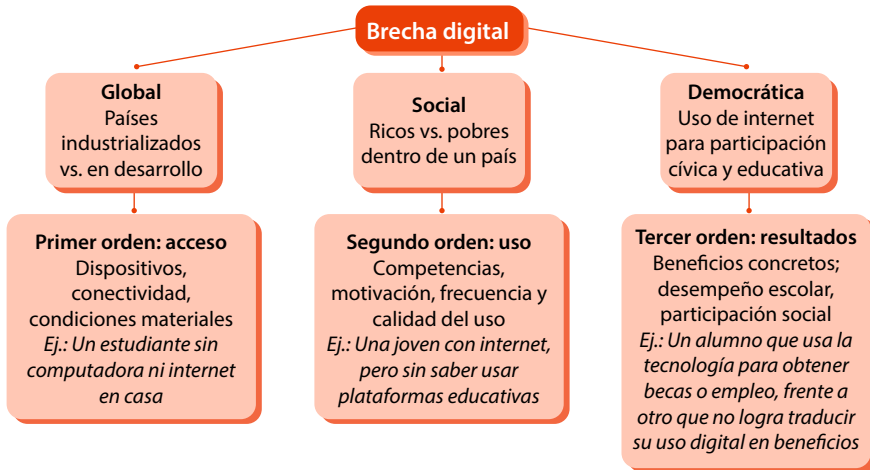
## Referencias

- Barragán Moreno, S. P. y Guzmán Rincón, A. (2025). Digital divide as an explanatory variable for dropout in higher education. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 22, 60. <https://doi.org/10.1186/s41239-025-00550-0>.
- Heros Rondenil, M. de los, Zurita Rivera, U., y Valenti Nigrin, G. (2020). Reformas e intervenciones de política educativa en la educación media superior de México: 2000–2018. En D. Pinkasz y P. Núñez (Eds.), *Estado de la*

- educación secundaria en América Latina y el Caribe: Aportes para una mirada regional*. FLACSO-México. <https://www.flacso.org.ar/wp-content/uploads/2020/12/I-Informe-Regional-FLACSO.pdf>.
- Instituto Mexicano de la Juventud (IMJUVE) (2017, 30 de octubre). ¿Qué es ser joven? <https://www.gob.mx/imjuve/articulos/que-es-ser-joven>
- INVIAI (2023). *La historia de la formación y desarrollo de la IA*. [https://inviai.com/es/la-historia-de-la-formacion-y-desarrollo-de-la-ia?utm\\_source=cha](https://inviai.com/es/la-historia-de-la-formacion-y-desarrollo-de-la-ia?utm_source=cha)
- Jiménez Porta, A. M., y Diez Martínez Day, M. E. (2021). Análisis del contenido de apps y videojuegos: Implicaciones en procesos cognitivos en la lectura inicial, *Apertura*, 10(1), 71–87. <http://dx.doi.org/10.32870/Ap.v10n1.1114>
- Kouam, A. W. (2024). *The effectiveness of intelligent tutoring systems in supporting students with varying levels of programming experience*. *Discover Education*, 3(1), artículo 278. <https://doi.org/10.1007/s44217-024-00385-3>.
- Martínez, E., y Tafur, L. (2022). *Educación digital en América Latina: desafíos y herramientas para estudiantes vulnerables*. Montevideo, Fundación Ceibal. [https://pmb.parlamento.gub.uy/pmb/opac\\_css/visionneuse.php?explnum\\_id=2087#](https://pmb.parlamento.gub.uy/pmb/opac_css/visionneuse.php?explnum_id=2087#)
- McLuhan, M. (1964). *Comprender los medios de comunicación: Las extensiones del ser humano*. Paidós.
- Miguel, F. J., y Hassan, S. (2012). La investigación mediante simulación social multiagente, en M. Arroyo e I. Sádaba (Eds.), *Metodología de la investigación social: Técnicas innovadoras y sus aplicaciones* (321–344). Editorial UAM.
- Otero, A., y otros (2022). El abandono escolar en la escuela secundaria: Una investigación sobre los entramados de eventos y experiencias en los procesos de interrupciones escolares con jóvenes de escuela secundaria de CABA y Gran Buenos Aires, *Educación secundaria, desigualdad, pandemia y horizontes pospandemia*. Puntoaparte.
- Pan, F., y otros (2024). *The effects of peer interaction on learning outcome of college students in digital environment–The chain-mediated role of attitude and self-efficacy*. <https://doi.org/10.1016/j.stueduc.2024.101404>
- Paz, H. R. (2025). *An agent based simulation of regularity driven student attrition: How institutional time-to-live constraints create a dropout trap in higher education*. Preprint. <https://arxiv.org/abs/2511.16243>
- Plasencia Díaz, A. (2020). *Abandono escolar en la Educación Media Superior: un problema por atender en México*. *RIESED – Revista Internacional de Estudios sobre Sistemas Educativos*, 2(10), 449–464. <https://www.riesed.org/index.php/RIESED/article/view/125>.

- Pérez Sáinz, J. P. (2024). Repensar las desigualdades desde las asimetrías digitales. Retos analíticos para América Latina, en G. Assusa & G. Benza (Coords.), *América Latina desigual. Preguntas, enfoques y tendencias recientes*. CLACSO / Siglo XXI Editores.
- Robles, J. M., Molina, Ó., y De Marco, S. (2012). Participación política digital y brecha digital política en España: un estudio de las desigualdades digitales, *Arbor*, 188(756), 795–810. <https://doi.org/10.3989/arbor.2012.756n4012>.
- Russell W. Rumberger (2011). *Dropping out: Why students drop out of high school and what can be done about it*. Harvard University Press.
- Saraví, G. A. (2015). *Juventudes fragmentadas: Socialización, clase y cultura en la construcción de la desigualdad*. FLACSO-México / CIESAS.
- Schuhmacher, N., Ballato, L., y van Geert, P. (2014). Using an agent based model to simulate the development of risk behaviors during adolescence, *Journal of Artificial Societies and Social Simulation (JASSS)*, 17(3). <https://www.jasss.org/17/3/1.html>
- The Mexico City Post (2025, 16 de mayo). 43.9% of Mexican households have a computer: INEGI. <https://themexicocitypost.com/2025/05/16/43-9-of-mexican-households-have-a-computer-inegi/>
- Tinto, V. (1993). *Leaving college: Rethinking the causes and cures of student attrition*. University of Chicago Press.
- Tzirides, A. O., y otros (2023). *Generative AI: Implications and Applications for Education*. arXiv preprint. <https://arxiv.org/abs/2305.07605>.
- unesco (2023). Less than 10% of schools and universities have formal guidance on AI . UNESCO IESAL. <https://www.unesco.org/en/articles/unesco-survey-less-10-schools-and-universities-have-formal-guidance-ai>.
- Van Dijk, J. (2020). *The Digital Divide*. Polity Press.
- Vanegas Giraldo, J. J. (2025). Impacto de la inteligencia artificial en la brecha educativa en Colombia, *Revista Interamericana de Investigación Educación y Pedagogía (RIIEP)*. <https://revistas.usantotomas.edu.co/index.php/riiep/article/view/10376>

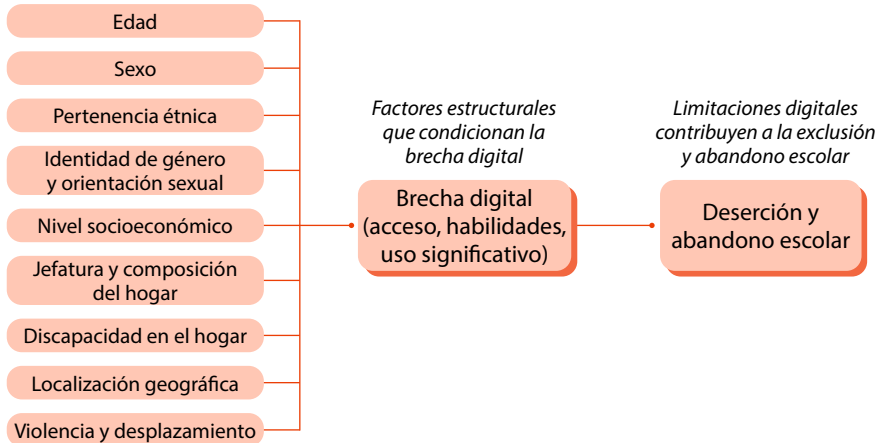
### Anexo 1: Niveles de brecha digital



Fuente: Elaboración propia.

Descripción: Presenta los tres niveles de brecha digital considerados en el estudio, definiendo perfiles de estudiantes según su acceso y uso de tecnologías digitales.

### Anexo 2: Procesos de vulnerabilidad que condicionan la brecha digital



Fuente: Elaboración propia.

Descripción: Muestra los factores y condiciones que influyen en la aparición y profundización de la brecha digital entre los estudiantes.

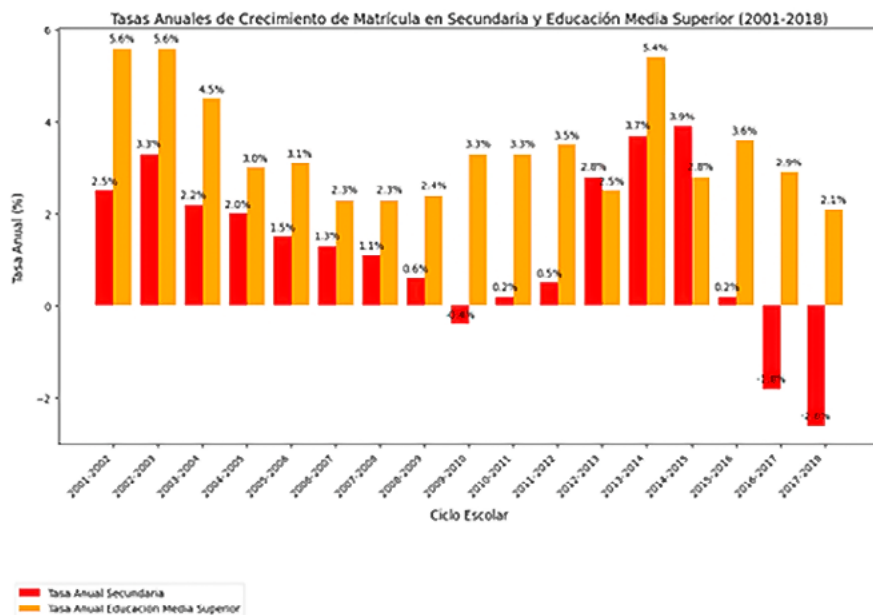
## Anexo 3: Tabla de funciones principales del programa de simulación

Función / Elemento	Descripción
Setup	Inicializa el entorno, define colores y formas de agentes, crea la población inicial y reinicia el contador de <i>ticks</i> .
Crea-población	Genera la población de agentes con estados iniciales "con brecha", "sin brecha" o "normal" y los posiciona aleatoriamente.
Convierte-a-brecha / convierte-a-sin-brecha / normal	Cambia el estado de los agentes y actualiza su apariencia (color, forma y tamaño).
go	Ejecuta la iteración principal: mueve agentes, crea nuevos individuos, simula deserción, actualiza conexiones y calcula agrupamientos.
Crea-nuevos-individuos	Añade nuevos agentes en cada <i>tick</i> según el parámetro $\alpha$ (controlado por slider) y asigna su estado inicial.
deserción	Simula la deserción de agentes con probabilidad $\beta$ (controlado por slider).
Deserción-brecha	Actualiza agentes "con brecha" a "sin brecha" si cumplen condiciones de proximidad y número de vecinos ( $\gamma$ , controlado por slider).
Mover	Desplaza agentes de forma aleatoria y suave.
Conecta	Establece conexiones entre agentes según tipo y proximidad (radio, controlado por slider); elimina links según distancia o tipo distinto.
Máximo-y-mínimo	Calcula y actualiza los porcentajes máximos y mínimos de cada grupo de agentes ("con brecha", "sin brecha", "normal").
Agrupamiento / calcula-agrupamientos	Calcula el coeficiente de agrupamiento local promedio de cada grupo de agentes.
Con-brecha / sin-brecha	Reporta los agentes que pertenecen a cada grupo según su color (estado).
Sliders	Controlan los parámetros clave del modelo: $\alpha$ (creación de agentes), $\beta$ (deserción estructural), $\gamma$ (umbral de vecinos), $p$ -brecha, $p$ -normal y radio de vecinos, permitiendo ajustar los escenarios de forma interactiva.

Fuente: Elaboración propia.

Descripción: Resumen de las funciones, parámetros y variables utilizadas para modelar la interacción entre estudiantes dentro de la simulación.

## Anexo 4: Tasa Anual de Matrícula Secundaria (2000–2018)



Fuente: Elaboración propia (procesado en Python) con base en Heros Rondén, Zurita Rivera y Valenti Nigrin (2020).

Descripción: Presenta la evolución de la matrícula secundaria a lo largo de los años, permitiendo analizar tendencias educativas y contextos de deserción escolar.

## Anexo 5: Escenarios históricos y predictivos de simulación

Escenario	Periodo histórico / ticks	Población inicial	Alfa	Beta	Gamma	p-brecha	p-normal	Radio
HISTÓRICO – Crecimiento	2001–2008 (96)	700–1000	70–100	0–10%	0–20	0–20%	80–100%	8–10
HISTÓRICO – Estabilidad	2009–2015 (84)	700–1000	60–90	0–5%	0–20	0–20%	85–100%	8–10
HISTÓRICO – Rezago	2016–2018 (36)	650–900	50–70	0–5%	0–25	0–20%	80–95%	7–9
PREDICTIVO – Optimista	Crecimiento simulado (96)	700–1000	70–100	0–10%	0–20	0–20%	80–100%	8–10
PREDICTIVO – Optimista	Estabilidad simulada (84)	700–1000	60–90	0–5%	0–20	0–20%	85–100%	8–10
PREDICTIVO – Optimista	Rezago simulado (36)	650–900	50–70	0–5%	0–25	0–20%	80–95%	7–9
PREDICTIVO – Crítico brecha digital	Crecimiento simulado (96)	500–800	40–60	0–10%	60–80	40–60%	40–60%	5–7
PREDICTIVO – Crítico brecha digital	Estabilidad simulado (84)	500–750	40–60	0–10%	65–80	45–60%	45–65%	5–7
PREDICTIVO – Crítico brecha digital	Rezago simulado (36)	480–700	35–55	0–15%	70–80	50–60%	40–60%	4–6
PREDICTIVO – Colapso educativo	Crecimiento simulado (96)	300–500	0–30	50–80%	80–100	60–100%	0–20%	2–4
PREDICTIVO – Colapso educativo	Estabilidad simulado (84)	300–450	0–20	60–80%	85–100	70–100%	0–15%	2–3
PREDICTIVO – Colapso educativo	Rezago simulado (36)	250–400	0–20	70–80%	90–100	80–100%	0–10%	1–3
PREDICTIVO – Intermedio dinámico (cambio hacia el crecimiento)	Crecimiento simulado (96)	400–800	40–80	20–50%	30–70	20–40%	50–80%	4–8
PREDICTIVO – Intermedio dinámico (cambio hacia la estabilidad)	Estabilidad simulado (84)	450–750	45–75	25–45%	35–65	25–40%	55–80%	4–7
PREDICTIVO – Intermedio dinámico (cambio hacia el rezago)	Rezago simulado (36)	400–700	40–70	30–50%	40–70	25–35%	50–75%	4–6

Fuente: Elaboración propia.

Descripción: Tabla 2 que resume funciones, variables y sliders del modelo, mostrando los parámetros usados para reproducir escenarios históricos de matrícula (2001–2018) y explorar escenarios predictivos, incluyendo los intervalos temporales de cada caso.