redie
Revista Electrónica de Investigación Educativa
Vol. 27
2025 / e03
ISSN: 1607-4041 | redie.uabc.mx

Modelo de simulación para las alternativas educativas presencia-distancia pos-COVID-19

Simulation Model for Face-to-Face and Distance Education Options Post-COVID-19

Sandra Patricia Barragán-Moreno | Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Colombia
Oscar Leonardo Lozano Galindo | Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Colombia

Cómo citar: Barragán-Moreno, S. P. y Lozano, O. L. (2025). Modelo de simulación para las alternativas educativas presencia-distancia pos-COVID-19. *Revista Electrónica de Investigación Educativa, 27*, e03, 1-21. https://doi.org/10.24320/redie.2025.27.03.5897

Resumen

Este estudio tuvo como objetivo simular el comportamiento de la deserción escolar en los niveles de preescolar, básica y media en Colombia tras la pandemia de COVID-19, considerando alternativas educativas entre presencialidad y virtualidad. Se aplicó una metodología en dos fases: metanálisis de 25 artículos (2020–2022) y simulación de escenarios con Dinámica de Sistemas. Los resultados muestran que las variables más relevantes son "docentes" y "matriz curricular", pertenecientes al determinante académico. El modelo reveló que la deserción es altamente sensible al porcentaje de virtualidad, alcanzando más de un millón de estudiantes desertores en escenarios de 100% virtualidad. En contraste, la deserción no fue sensible al aumento de horas de capacitación docente dentro de los márgenes establecidos por las políticas educativas. Se concluye que la virtualidad exige acciones integrales que superen la capacitación docente y garanticen condiciones tecnológicas mínimas para prevenir el abandono escolar.

Palabras clave: modelo de simulación, deserción escolar, educación básica, educación a distancia

Abstract

This study aimed to simulate school dropout in preschool, basic, and upper secondary education in Colombia following the COVID-19 pandemic, based on face-to-face and distance education scenarios. A two-stage methodological approach was employed, consisting of a meta-analysis of 25 articles (2020-2022) and a simulation of scenarios using system dynamics. "Teachers" and "curriculum matrix," which were part of the academic determinant, were found to be the most relevant variables. The model showed that dropout is highly sensitive to the percentage of virtual education, with over one million students dropping out in 100% virtual scenarios. By contrast, dropout was not sensitive to an increase in teacher training hours within the limits set by education policy. We conclude that virtual education calls for comprehensive measures that go beyond teacher training and ensure minimum technological conditions to prevent school dropout.

(Recibido: 13 de marzo de 2021; Aceptado para publicación: 16 de noviembre de 2021)

Keywords: simulation model, dropping out, basic education, distance education

I. Introducción

La Organización de las Naciones Unidas (ONU, 2020) indicó que la pandemia por COVID-19 afectó a 1600 millones de estudiantes de 190 países: "Los cierres de escuelas y otros centros de enseñanza han afectado al 94% de los estudiantes de todo el mundo, una cifra que asciende al 99% en países de ingreso bajo y mediano bajo" (ONU, 2020, p. 2). Por su parte, el Banco Mundial (2021) señaló que el desafío en el corto plazo es reabrir las escuelas en condiciones de bioseguridad y procurar la permanencia de los estudiantes, haciendo énfasis en que las niñas están en mayor riesgo de deserción escolar. La ONU y el Banco Mundial coincidieron en que el desafío a largo plazo es revertir los resultados producto de las pérdidas de aprendizaje (Banco Mundial, 2021; ONU, 2020) entendido esto como una disminución del promedio de aprendizaje de todos los estudiantes, dado que las respuestas a la crisis fueron desiguales en cada país y se enfrentaron a una deserción escolar masiva (Iqbal et al., 2020).

La deserción escolar se comporta como un sistema de complejidad dinámica (Barragán, 2015) que debe ser monitoreado con frecuencia para fortalecer los planes de permanencia en el sistema escolar, este monitoreo que era procedente para el período preconfinamiento se resignificó para el confinamiento y el posconfinamiento derivados de la pandemia por COVID-19. El monitoreo de las variables explicativas se puede lograr mediante la adaptación del modelo de Tinto (1993), aceptado por el Ministerio de Educación de Colombia (MEN) para diagnosticar, tratar y monitorear la deserción en educación superior como consecuencia de la interacción estudiantes-institución. Los documentos de diagnóstico y análisis de la deserción señalan cómo al comparar desde diferentes abordajes los determinantes de la deserción, las variables explicativas que más se analizan en los determinantes corresponden a las mencionadas por Tinto desde sus estudios iniciales en 1975 (Ministerio de Educación Nacional, 2009).

El modelo de integración de Tinto (1993) categoriza las variables en determinantes endógenos al sistema educativo (académicos e institucionales) y exógenos (individuales y personales) por lo que resulta útil su implementación en la deserción escolar de niños y jóvenes agrupando las variables explicativas (ver Figura 1) apropiadas a sus niveles educativos y edades. Considerando las diferencias entre países se aclara que el sistema educativo colombiano considera el nivel de educación inicial para niños entre 0 y 5 años, la primaria para niños entre 6 y 10 años, la secundaria adolescentes de 11 a 14 años y la media para jóvenes de 15 a 16 años.

Figura 1. Determinantes y variables explicativas de la deserción escolar

Nota: Adaptado de Tinto (1993).

De acuerdo con Barragán-Moreno y Lozano-Galindo (2022), el modelo de Tinto (1993) permite la identificación y monitoreo de al menos 44 variables directas e indirectas que afectan la permanencia o el abandono escolar de los estudiantes de niveles anteriores a la educación superior cuya intensidad de influencia va cambiando con la edad de los estudiantes, por ejemplo la variable maternidad-paternidad en edades tempranas se pondera con 0, pero en la adolescencia su ponderación incrementa.

Entre las variables explicativas más previsibles de la deserción escolar en el período de confinamiento estaban las asociadas al determinante socioeconómico con base en las dificultades derivadas de la contracción de la economía y la vulnerabilidad económica ya existente que zanjó diferencias importantes para afrontar el aislamiento (Banco Mundial, 2021), así como el matrimonio infantil, el embarazo precoz y la violencia de género que afectan a las niñas y mujeres jóvenes (ONU, 2020). Por otro lado, Ramírez y Hernández (2021) destacaron cómo para la etapa preescolar la virtualidad obligada mostró la desigualdad en el acceso a esta modalidad educativa pues es en este nivel donde se fundamenta el desarrollo socioemocional e intelectual a través de la presencialidad. En este contexto, surgieron las preguntas de investigación orientadoras.

RQ1: ¿Cuáles son las principales variables explicativas de la deserción escolar en preescolar, básica y media en Colombia durante el confinamiento por el COVID-19?

RQ2: ¿Cuál es el comportamiento a largo plazo de las variables en las alternativas educativas entre presencia y distancia tendientes a disminuir la deserción escolar en preescolar, básica y media en Colombia tras el COVID-19?

El objetivo de este artículo fue simular el comportamiento de la deserción escolar en preescolar, básica y media en Colombia tras el COVID-19, considerando la virtualidad en las alternativas educativas en el *continuum* entre presencia y distancia.

1.1 Cambios, respuestas y alternativas ante la emergencia

García (2021) señaló que la pandemia obligó al cambio drástico en la oferta de servicios educativos por el cierre obligatorio de las instalaciones. Los diferentes gobiernos se vieron obligados a dar continuidad a los servicios educativos con educación digital a distancia, haciendo uso de las tecnologías de información disponibles, lo que generó una respuesta desigual entre países y al interior de estos debido a las limitaciones de infraestructura tecnológica, planificación del sistema educativo (Herrera, 2021), aunado a la preparación de profesores y estudiantes obligados a entregar y recibir una "educación a distancia digital" o "educación de emergencia en remoto" que emergió como solución a la necesidad de continuar con el servicio educativo, teniendo en cuenta la distancia física y posibilitando la interacción sincrónica o asincrónica.

Una respuesta al cambio fue modificar la razón (profesores/estudiantes) para monitorear el avance de los estudiantes adaptando las prácticas presenciales al aula virtual. Se forzó el cambio en la forma de enseñar y aprender, proyectando propuestas pedagógicas flexibles, adecuadas a las condiciones de bioseguridad, tamaño y preparación de los grupos de estudiantes, así como la preparación y actitud de los docentes. Los docentes incorporaron con rapidez recursos de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) y de las tecnologías del aprendizaje y el conocimiento (TAC) (Latorre et al., 2018) como apoyo a su labor. Para hacer frente a las condiciones impuestas en las circunstancias de desconocimiento del virus o posteriores apariciones de otros, se mudó de la presencialidad (normalidad) a la oferta híbrida (que se enfoca en una parte del grupo de estudiantes atendidos de forma presencial y otra a distancia con apoyo digital), disponiendo de una oferta completamente a distancia.

La oferta educativa a distancia ha sido recomendada en educación superior y se ha convertido en un reto de adaptación de los currículos, así como para la evaluación en entornos emergentes. En la educación superior, la falta de preparación de estudiantes y docentes se hizo evidente y mostró enormes diferencias por el acceso a elementos de *hardware*, *software* y conectividad, sumadas a la falta de habilidad en el manejo de plataformas educativas pese a ser nativos digitales (Díaz Barriga y Barrón, 2022; Guevara, 2021). Las diferencias se acentuaron al analizar los resultados obtenidos en las pruebas externas comparados por georreferenciación porque evidenciaron resultados mayores en lugares con mejores condiciones de infraestructura y conectividad (ciudades), a diferencia de las zonas más apartados de los centros urbanos (Arias-Velandia et al., 2021).

La oferta educativa a distancia es poco recomendada en educación preescolar, básica y media, donde las relaciones docente-estudiante y estudiante-estudiante son indispensables para adelantar el proceso educativo —debido a que mediante estas relaciones se construyen vínculos afectivos y emocionales que influyen en la apropiación del conocimiento—. Las condiciones de bioseguridad y los aprendizajes obligaron a considerar escenarios educativos flexibles para tiempos de confinamiento o posconfinamiento para disminuir la deserción, mantener los niveles de calidad y suavizar el efecto de variables de tipo económico, geográfico o de alguna condición especial que impidiera acceder al servicio educativo oficial (Barragán-Moreno y Lozano-Galindo, 2022; García, 2021).

La representa la gama de alternativas que se implementaron o se pueden implementar para adaptar el proceso de enseñanza-aprendizaje y las propuestas pedagógicas enfocadas a los resultados de aprendizaje, el modelo pedagógico y el proyecto educativo de la institución escolar. Estas alternativas dependen de los contextos en los que se enmarcan las prácticas docentes, los recursos tecnológicos disponibles, las habilidades y destrezas de docentes y estudiantes para el manejo de tecnología de modo que se reduzca la posibilidad de reproducir las disparidades en educación y en deserción actuales (Herrera, 2021).

Figura 2. Gama de alternativas educativas entre presencialidad y sincronía en telepresencia

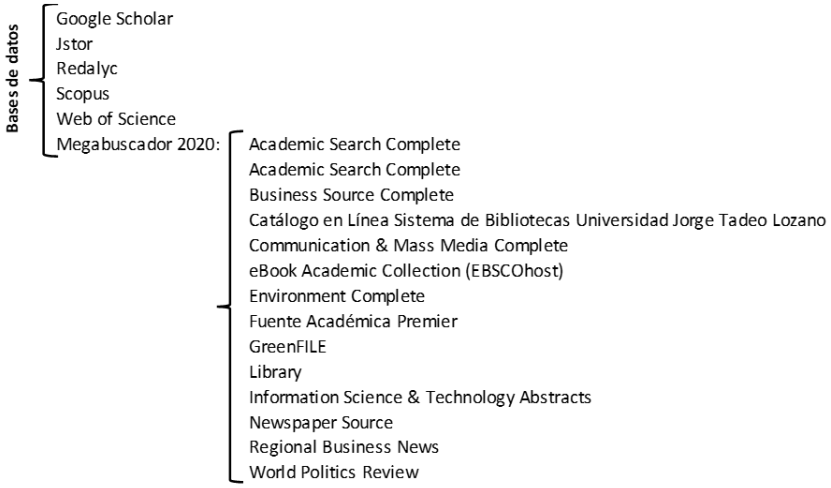
Nota: Adaptado de García (2021).

II. Método

La metodología se configuró en dos fases que se realizaron de forma consecutiva:

Fase 1: Metanálisis. Análisis de 21 artículos de investigación publicados en el período 2020-2021 ubicados mediante la búsqueda en 19 bases de datos (ver Figura 3), y 24 ecuaciones específicas para permanencia y deserción en educación. La muestra de los artículos se logró luego de un proceso que incluyó identificar, seleccionar, cribar y excluir documentos relacionados, como lo indica la guía PRISMA 2020 (Page et al., 2021).

Figura 3. Bases de datos búsqueda de artículos



Fase 2: Modelación y simulación de escenarios. Para llevar a cabo esta fase se realizó una aproximación sistémica dada la naturaleza compleja que presenta el sistema de educación básica en Colombia, constituido por múltiples actores y un sinnúmero de interrelaciones que se sintetizan en dos subsistemas: demanda educativa y oferta. La interacción de estos dos subsistemas determina cómo se comporta el sistema educativo completo.

En esta fase es muy importante visualizar la realimentación y los efectos que surgen por los cambios que, con el tiempo, experimentan las variables clave del sistema (ver Anexo I). Es por ello que surge la necesidad de presentar los resultados del funcionamiento del sistema al realizar intervenciones sociales (simulaciones), las que pueden ser diseñadas y ejecutadas apoyándose en herramientas informáticas basadas en el contexto histórico y la proyección a futuro de los resultados de aplicación de acciones de política pública educativa sobre el mismo (Bianchi y Salazar, 2020; Senge, 2010; Williams y Hummelbrunner, 2011). Para ello se recurrió a la descripción del comportamiento por medio del diagrama de bucles causales, para identificar las hipótesis y los roles de los elementos presentes en los subsistemas.

El diagrama de bucle causal muestra tanto el comportamiento de referencia del sistema como las hipótesis dinámicas y la estructura de retroalimentación. La representación de la interacción entre las variables del sistema se hace mediante flechas marcadas con signos positivos o negativos El signo positivo indica una relación directamente proporcional de las variables (si una aumenta, la otra también), mientras que un signo negativo revela una relación inversamente proporcional (si una variable aumenta, la otra disminuye) (Bala et al., 2017). Finalmente se implementó un modelo Stock and Flow como modelo de simulación de la Dinámica de Sistemas conjugando la modelación como práctica científica, progresión de modelos y mediante su dimensión instrumental (Oliva, 2019).

En concordancia con la progresión de modelos, se consideró como punto de partida el modelo de Serna y Flores (2015) diseñado para estudiar las políticas educacionales en Perú. La progresión implicó la incorporación de variables identificadas en la Fase 1 relacionadas con el rol del docente, el porcentaje de virtualidad en las posibilidades educativas tras el confinamiento por el COVID-19 y los efectos de las variables en los determinantes individual, institucional y socioeconómico, todo esto con el ánimo de aprovechar las similitudes del modelo peruano con la dinámica de la deserción en Colombia en el nuevo contexto. Asimismo, se involucraron estudios que señalan múltiples factores en las causas de

abandono, como fueron la enfermedad por COVID-19, la escasa o ninguna preparación del modelo de educación rural en educación remota, la falta de continuidad en los procesos de inclusión de estudiantes migrantes, así como la desigualdad en términos de acceso y disponibilidad tecnológica para la formación de la población, tanto a nivel Colombia como en Latinoamérica (Mauris y Domínguez, 2022; Pérez, 2022; Rodríguez-Lizarralde et al., 2022; Sañudo, 2022). Posteriormente, como práctica científica, el modelo se parametrizó tanto para validar su operatividad como para simular; la parametrización se hizo con datos sobre los niveles educativos de preescolar, básica y media en Colombia disponibles en bases públicas. La simulación registró el comportamiento en tres escenarios revelando el efecto de las alternativas educativas que se encuentran entre la presencialidad y la virtualidad sobre la deserción estudiantil (Figura 2).

III. Resultados

Al aplicar las fases expuestas se obtuvieron resultados respecto a la identificación de variables que se integraron en el modelo y al modelo de dinámica de sistemas.

3.1 Variables que explican la deserción

Al iniciar la revisión sistemática, se ubicaron 77 700 registros en las 19 bases de datos mediante 24 ecuaciones específicas de búsqueda para permanencia y deserción en educación. De ese total se eliminaron por duplicación 75 809 registros quedando 1891 para criba en título y resumen y de esa manera decidir su elegibilidad y procesamiento con Atlas.ti. Se conformó una muestra de 25 artículos de investigación publicados entre enero de 2020 y diciembre de 2022 que fueron incluidos en la síntesis cualitativa de la revisión (Figura 4).

Figura 4. Muestra conformada por artículos de investigación

2020		2021		2022	
Educación inclusiva en contexto: reflexiones sobre la implementación del Decreto 1421 de 2017	Díaz, A., Bravo, C., y Sierra, G.	Uso de las Tecnologías de Información y Comunicación como Valor Pedagógico en Tiempo de Crisis	Avendaño, W., Hernández, C., y Prada, R.	A feedback view of behavioural distortions from perceived public service gaps at 'street-level' policy implementation: The case of unintended outcomes in public schools	Bianchi, C., & Salazar, R
"Universalización de la educación media de calidad: el reto sigue para llegar a ser "Colombia la mejor educada"	García, S., & Maldonado, D.	Diferencia de logro geolocalizado en educación presencial y a distancia en Colombia	Arias-Velandia, N., Rincón-Báez, W. U. y Cruz-Pulido, J. M.		
We should avoid flattening the curve in education – Possible scenarios for learning loss during the school lockdowns	Iqbal, S., Azevedo, J., Geven, k., Hasan, A., & Patrinos, H.	Desafíos del currículo en tiempo de pandemia: innovación disruptiva y tecnologías para la inclusión y justicia social	Díaz Barriga, F. y Barrón, M. C.	Los Efectos De La Crisis Sanitaria Del Covid-19 En La Educación Rural De Colombia	Mauris, L., y Domínguez, B.
Educación Rural y Dispositivo Evaluación en Tiempos de COVID-19: Voces de Profesores de Matemática	Martínez, D., Serna, J., y Arrubla, J.	School reorganization reforms: the case of multi-site schools in Colombia.	Elacqua, G., Sánchez, F., & Santos, H.	Educación, Desigualdad Sociodigital en Pandemia	Pérez, A
Understanding Latin America´s Educational Orientations: Evidence from 14 Nations	Osiobe, E.	Estudio del Sector Educativo Colombiano	Findeter	Inclusión educativa en pandemia: interseccionalidad y situación de menores venezolanos en Bogotá	Rodríguez-Lizarralde, C., López-Villamil. S., y Barrera-García, A.
Un Marco para Guiar una Respuesta Educativa a la Pandemia del COVID-19	Reimers, F., y Schleicher A.	COVID-19 y educación a distancia digital: preconfinamiento, confinamiento y posconfinamiento	García, L.		
Pruebas de Evaluación Saber Y PISA en la Educación Obligatoria de Colombia	Sanabria, L., Pérez, M., y Riascos, L.	El modelo de la alternancia y la desigualdad educativa territorial en la educación en Colombia	Herrera, D.	Del abandono a la permanencia escolar en secundaria	Sañudo Guerra, L.
Efectos de las tecnologías de la información y las comunicaciones en la educación en Colombia	Sánchez, P., Saavedra, C., & Figueroa, C.	Las Organizaciones de la sociedad civil en época de pandemia. Reflexiones hacia una nueva normalidad: ¿Nuevos desafíos o mismas realidades?	Maroscia, C., y Ruiz, P.		
Policy Brief:Education during COVID-19 and beyond	United Nations	Una Mirada a la Educación Preescolar desde la Diversidad en Pandemia Covid-19 y sus Afectaciones.	Ramírez, G., y Hernández, S.		
		Perspectivas actitudinales de docentes en ejercicio y en formación hacia la educación inclusiva	Rodríguez, A., Gallego, J., Navarro, A., y Caurcel, M.		
		Global Economic Prospects	World Bank		

Con las variables identificadas en los artículos cuyo texto asociado referenciaba al significado, valor o efecto de una variable específica, se encontró que la mayoría de estas

correspondía al determinante académico (57.14%), seguido por el institucional (28.57%), luego el socioeconómico (9.52%) y por último el individual (4.76%).

Las investigaciones en torno al determinante académico posicionaron a la variable "docentes" como la más importante para explicar la deserción. Los hallazgos indicaron que la variable "docente" es entendida como quien vincula y brinda herramientas para afianzar a los estudiantes en su proceso de enseñanza y mediar las nuevas relaciones de los actores estudiantes-docentes-padres de familia. Los docentes son los encargados de velar por el derecho a la educación en las condiciones de aislamiento y distanciamiento físico aunadas a las condiciones de desigualdad socioeconómica que tienen a Colombia con un índice de Gini de 0.57% y la ubican en el octavo lugar de los países con mayor desigualdad según datos de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) y el Banco Mundial (Herrera, 2021).

Al mismo tiempo se identificó que proporcionar tecnología no es suficiente para obtener mejores aprendizajes, sino que estos deben estar mediados por docentes conocedores de la misma (Reimers y Schleicher, 2020; Sanabria et al., 2020). Otro punto clave del determinante lo constituyó la falta de preparación de los docentes para atender grupos con necesidades educativas especiales, un punto álgido que merece observación dado que se requiere la interacción entre familia, escuela y profesionales que trabajen conjuntamente hacia la equidad (Díaz-Piñeres et al., 2020). También, se estableció que la variable incluye la escasa preparación de los docentes en los aspectos técnico-administrativos del manejo de TIC y TAC de forma que puedan aplicar estas herramientas para la resolución de problemas, interacción y enseñanza activa en pro de la mejora en la práctica docente. Esta mejora motiva a docentes y estudiantes en el proceso de enseñanza-aprendizaje obligando a los docentes a adquirir destrezas técnicas y pedagógicas necesarias para integrarlas a la enseñanza en esta modalidad (Avendaño et al., 2021; García, 2021; Sánchez et al., 2020).

La variable "matriz curricular" abarca múltiples aspectos curriculares, pedagógicos, didácticos y actitudinales de los docentes enlazando la autonomía de los estudiantes por la suspensión del acompañamiento docente, la oferta curricular, el apoyo en TIC o TAC y las adaptaciones necesarias para no dejar a ningún estudiante atrás por razones socioeconómicas, o de necesidades educativas especiales. La expectativa engloba en la estructura de esta "matriz curricular" una propuesta educativa que permita flexibilizar recursos, materiales, tiempos y evaluaciones, con miras a renovar e innovar pedagógicamente. Todo esto para responder acorde a la emergencia y preparar a los diferentes actores para migrar a los nuevos modelos híbridos, presenciales y a distancia, priorizando y definiendo lo que se debe aprender en el período de distanciamiento, aclarar dudas y verificar aprendizajes (García, 2021; Díaz-Piñeres et al., 2020; Reimers y Schleicher, 2020; Serna et al., 2020).

En el determinante institucional se destacó el "entorno político". En años anteriores, el entorno político hacía referencia al contexto del conflicto armado, la violencia y el acuerdo de paz, mientras que para el período 2020-2021 esta variable tuvo una nueva acepción en cuanto a la obligatoriedad que tiene el estado colombiano de formular e implementar las políticas públicas precisas para garantizar el servicio educativo con accesibilidad, oportunidad, calidad e inclusión, teniendo en cuenta las particularidades de los territorios y sus realidades y favoreciendo el cierre de la brecha entre educación urbana y rural en el espacio de pandemia y pospandemia (García, y Maldonado, 2020; Herrera, 2021; Maroscia y Ruiz, 2021). La variable "entorno político" fue vinculada a las políticas públicas ante la necesidad de priorizar el apoyo a estudiantes y escuelas con mayores carencias en cuanto a infraestructura y habilidades para el estudio independiente, incluyendo actividades de bienestar tanto para estudiantes como para docentes (Findeter, 2021).

La variable "infraestructura" cambió de ser la parte física de las instalaciones a ser la tecnológica, integrando los ajustes necesarios para que desde lo concerniente a los estudiantes, las TIC puedan llegar a quienes no pueden acceder a dispositivos mínimos o conectividad como herramientas necesarias para avanzar en su logro académico y desde lo concerniente a los docentes propiciar el efecto de obligatoriedad de su acción educativa de forma digital, facilitando apoyos técnicos para sesiones educativas sincrónicas o asincrónicas de trabajo académico remoto, individual o colectivo que permitan impartir y evaluar una formación a distancia. Todo esto sobrepasando barreras como los problemas de conectividad y equipos, el rechazo o aversión a tecnologías de docentes y alumnos, acostumbrados al desarrollo del conocimiento en un lugar físico trasladado a una sala virtual.

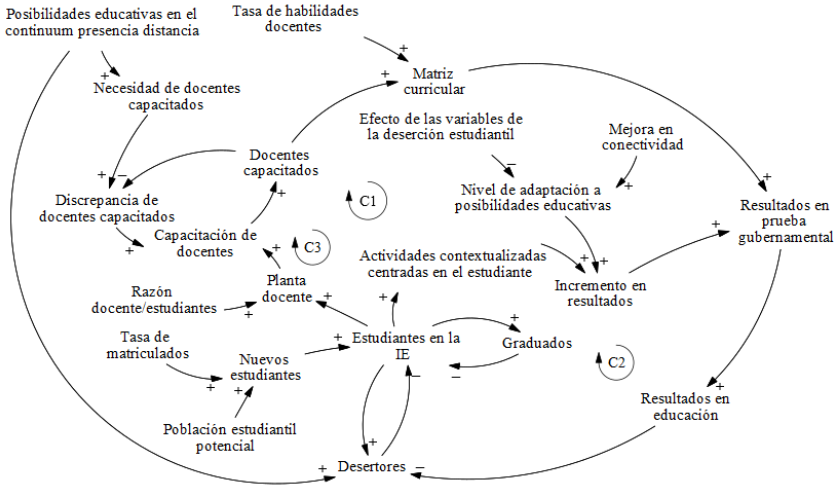
En el determinante socioeconómico, la variable "ubicación de la residencia" fue la de mayor referencia por la implicación que tiene sobre los problemas de acceso entre los sectores de ubicación de las instituciones educativas urbanas y rurales. Al pasar de la modalidad presencial a digital se evidenciaron aún más las diferencias históricas de brecha educativa municipal y rural. La ausencia de dispositivos tecnológicos se hace más visible en la ruralidad, donde la capacidad para generar economías a escala del servicio se ve permeada por el distanciamiento geográfico que causa altos costos en la provisión de transporte, alimentación y accesibilidad que hacen menos atractivo continuar con los estudios por falta de condiciones físicas, tecnológicas o de oferta educativa completa (García y Maldonado, 2020) obstaculizando la mitigación de la deserción escolar (Díaz-Piñeres et al., 2020; Elacqua et al., 2020; Herrera, 2021; Osiobe, 2020).

En el determinante individual, la variable "condiciones de salud" tuvo más alta referencia condicionada a la preocupación y al desconocimiento de las consecuencias de la pandemia que se sumaron a los problemas prevalentes de desnutrición, violencia intrafamiliar y migración que acentuaban el abandono escolar y que en toda crisis afecta con mayor intensidad a los grupos más vulnerables (Maroscia y Ruiz, 2021).

3.2 Modelo de simulación para las alternativas educativas en el *continuum* presencia-distancia

Con la identificación de las variables se procedió a la implementación de la segunda fase de la metodología, obteniendo como primer resultado el diagrama de bucle causal (Figura 5).

Figura 5. Diagrama de bucle causal–hipótesis dinámicas



Nota: Adaptado de Serna y Flores (2015).

En la Figura 5 se detectan tres bucles que indican cualitativamente los siguientes efectos: Efecto de la capacitación de docentes sobre la deserción: a mayor cantidad de docentes capacitados se mejora la matriz curricular y, con ello, también los resultados en la prueba gubernamental aplicada al final de la media; esta mejora tiene un efecto positivo en los resultados totales en educación al disminuir la tasa de deserción. De aquí que el número de estudiantes desertores es menor, por lo que la población estudiantil activa incrementa y se requiere una planta docente más grande para atenderla; en consecuencia, se requiere más tiempo de capacitación para tener más docentes capacitados.

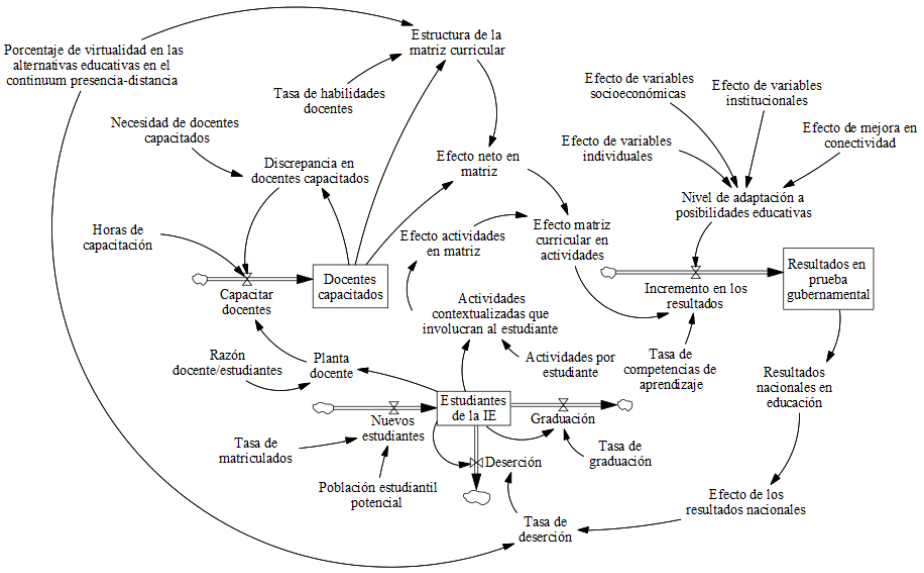
Efecto de las actividades contextualizadas centradas en el estudiante sobre los estudiantes de las Instituciones Educativas (IE): a mayor cantidad de actividades que involucren al estudiante, se incrementan los resultados y con ellos los resultados en la prueba gubernamental estandarizada; de esta forma se mejoran los resultados en educación y se disminuye la tasa de deserción y el número de estudiantes desertores, permitiendo que más estudiantes permanezcan en las IE, requiriendo más actividades contextualizadas.

Efecto de los estudiantes en la IE sobre la deserción estudiantil: cuando una IE tiene un alto número de estudiantes requiere mayor planta docente que demanda más capacitación. Al tener más docentes capacitados se mejora la matriz curricular así como los resultados en la prueba gubernamental, y con ello los resultados en educación, lo que disminuye el número de estudiantes desertores incrementando la población activa en la IE.

La Figura 6 muestra el modelo elaborado mediante la Dinámica de Sistemas para la simulación de tres escenarios que dan cuenta de la repercusión sobre la deserción escolar del porcentaje de virtualidad en las alternativas educativas, en el *continuum* entre presencia y distancia en los niveles educativos de preescolar, básica y media.

El modelo tiene un supuesto importante y es que, en cualquier porcentaje de virtualidad, incluidos los extremos 0% de virtualidad (presencialidad total) o 100% de virtualidad los docentes deben recibir capacitación disciplinar en TIC y TAC, en sensibilización hacia la profesión y la práctica docente. La profesión docente exige actualización permanente en habilidades docentes y disciplinares.

Figura 6. Modelo para las alternativas educativas en el *continuum* presencia-distancia

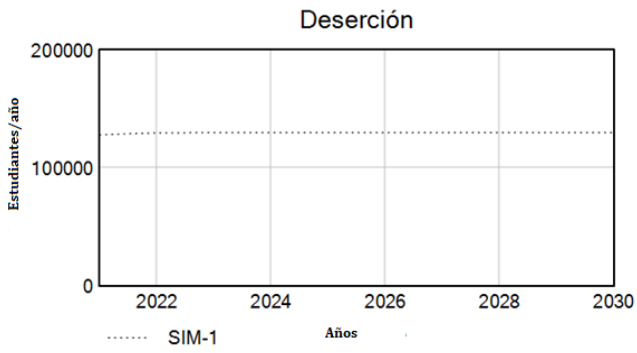


Nota: Adaptado de Serna y Flores (2015).

3.3 Primer escenario (SIM-1): supuestos y valores iniciales

Para iniciar el análisis de las tendencias a largo plazo se consideraron las variables y parámetros del Apéndice 1. Entre los parámetros para el modelo de referencia del sistema (estado inicial) se resalta el 10% de virtualidad en las actividades programadas dentro de las posibilidades educativas y las 40 horas de capacitación por profesor por año para una población potencial de estudiantes de 8 613 646 y con una tasa de deserción anual del 15.79%. La SIM-1 mostró que la deserción tiene un comportamiento asintótico horizontal en 129 281 estudiantes, quienes abandonarían su estudio por año a nivel nacional (Figura 7).

Figura 7. SIM-1 10% de actividades virtuales como modelo de referencia



Nota: Con información del Apéndice 1.

Las simulaciones para el segundo y tercer escenarios se realizaron bajo el criterio Ceteris Paribus, considerando en el segundo solo el cambio del parámetro correspondiente al porcentaje de virtualidad en las actividades académicas (cinco simulaciones) y en el tercero solo el cambio de las horas de capacitación docente (dos simulaciones).

3.4 Segundo escenario: progresión en la puesta en marcha de la virtualidad

Para este análisis se hicieron cinco simulaciones en las que se fue modificando progresivamente el parámetro correspondiente al porcentaje de virtualidad en las alternativas académicas a las que se exponen niños y adolescentes de la básica, la secundaria y la media. El periodo 2021- 2030 de simulación se definió similar al horizonte para el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Como lo muestra la Tabla 1, la deserción estudiantil se acentúa a medida que se incrementa el porcentaje de virtualidad en las alternativas educativas, por ejemplo, al implementar el 20% de virtualidad en las actividades académicas, la deserción estudiantil se estabiliza en 254.498 estudiantes, mientras que al llevar todas las actividades a la virtualidad se observa una deserción superior al millón de niños y adolescentes.

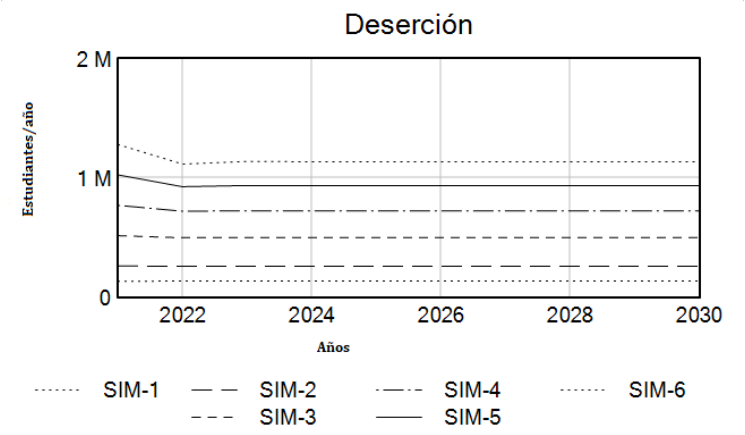
Tabla 1. Simulaciones para la deserción estudiantil en la progresión de la virtualidad

Simulación computacional	Porcentaje*	Deserción estudiantil**
SIM-2	20	254 498
SIM-3	40	493 484
SIM-4	60	718 335
SIM-5	80	930 269
SIM-6	100	1 130 370

Notas: * Porcentaje de virtualidad en las alternativas educativas.
** Asíntota horizontal de la deserción en número de estudiantes.

La Figura 8 evidencia la sensibilidad de la población estudiantil que deserta de básica, secundaria y media a los porcentajes de virtualidad, mostrando las asíntotas horizontales (tendencia a largo plazo) del comportamiento de la deserción estudiantil.

Figura 8. Comportamiento de la deserción estudiantil en la progresión de la virtualidad



Nota: Con información del Apéndice 1.

3.5 Tercer escenario: capacitación docente

En esta ocasión se ejecutaron dos simulaciones computacionales para el parámetro de las horas de capacitación docente como herramienta para la mejora de la práctica docente y la sensibilización hacia la profesión. Es importante recalcar que todos los demás parámetros se dejaron como en el Apéndice 1, es decir, como en el modelo de la SIM-1. El valor inicial para el parámetro de 40 horas de capacitación anual por profesor corresponde al trabajo

académico de los profesores que deben hacer en una semana de desarrollo institucional por año (ver Apéndice 1). Las simulaciones SIM-7 y SIM-8 se hicieron con 80 y 120 horas de capacitación anuales por profesor lo que equivale a dos y tres semanas de desarrollo institucional, respectivamente. A largo plazo, la tendencia para la deserción estudiantil es la misma, siendo esta de 129.281 estudiantes. En otras palabras, la deserción no es sensible a la capacitación de los profesores en las condiciones dadas. Es de anotar que no se consideran tiempos mayores, para las simulaciones a las 5 semanas de desarrollo institucional del calendario académico anual previstas en el Decreto No.1075, de 2015, porque corresponderían a diplomados o programas de posgrado que realizan los profesores de forma masiva y este caso no es factible.

IV. Discusión

Durante el confinamiento producto de la pandemia por COVID-19, la revisión sistemática arrojó que un 57.1% de los estudios adelantados sobre determinantes de deserción escolar para los niveles de educación básica y media en Colombia se sitúan en el determinante académico, y al interior de este la variable más citada correspondió a "docentes", definida en su quehacer, primero como encargados de vincular estudiantes, profesores y padres de familia al servicio educativo en las condiciones sobrevinientes de aislamiento, distanciamiento físico, sin dejar de lado la desigualdad social, económica y tecnológica, en segundo lugar, señala la escasa preparación personal y profesional de los docentes en herramientas propias de la modalidad propuesta (TIC y TAC), factores que dificultan la prestación de un servicio educativo que transite entre presencia y distancia para tiempos de pandemia y postpandemia.

La segunda de las variables más citadas al interior del determinante académico correspondió a la "matriz curricular", encargada de llevar una propuesta pedagógica que flexibiliza, recursos, materiales, tiempos y evaluaciones, permitiendo así a los diferentes actores del proceso migrar a modelos híbridos de educación propuestos en el *continuum* presencia-distancia de esta nueva normalidad.

Con un 28,75% de los documentos hallados, el determinante institucional se convirtió en el segundo más estudiado y en su interior la variable más citada "entorno político" que otrora hacía referencia al contexto del conflicto armado, la violencia y el acuerdo de paz, para el periodo 2020-2021 se resignificó para el contexto de obligatoriedad del estado colombiano en formular e implementar políticas públicas que garanticen la prestación del servicio educativo con accesibilidad, oportunidad, calidad e inclusión, sin dejar de lado las particularidades de los territorios siempre en procura del cierre de brechas entre educación urbana y rural, finalmente para el determinante, la variable "infraestructura" se resignificó cambiando su connotación de física a tecnológica, hecho que implicó integrar los ajustes necesarios para brindar servicios estudiantes que no en su totalidad acceden a dispositivos electrónicos o conectividad, herramientas necesarias para adelantar el proceso académico, y en lo relativo a los docentes, avanzar en la obligatoria digitalización de la actividad permitiendo apoyos técnicos para sesiones educativas sincrónicas o asincrónicas de trabajo individual o colectivo, que permitan impartir y evaluar una nueva formación a distancia.

Finalmente, el determinante socioeconómico con un 9,52% de los estudios y en su interior la variable "ubicación de la residencia" fue las más citada por la implicación que tuvo para el acceso y conectividad en los sectores de ubicación de las diferentes instituciones educativas (urbanas y rurales).

Al trabajar mediante la progresión de modelos incorporando las variables a la base sentada por Serna y Flores (2015), se encontró que la deserción estudiantil es altamente sensible al

porcentaje de virtualidad implementado en las posibilidades educativas ofrecidas a niños y adolescentes en el sistema colombiano y no es sensible al tiempo en horas destinado a capacitación docente que oscila entre las 40 y las 200 horas por año. El reto del componente virtual en la educación no alcanza a ser subsanado con esta dedicación a la sensibilización, mejora y adquisición de habilidades docentes que fomenten competencias en dominio de TIC y TAC, pedagogía y didáctica que afiancen a los estudiantes en la IE y en el sistema mismo. Todo esto sin contar que, en estas semanas, el tiempo debe dedicarse al Proyecto Educativo Institucional, plan de estudios, investigación y actualización pedagógica, evaluación institucional y demás actividades para la prestación del servicio académico.

Es decir que hay un desafío para el marco del sistema colombiano de formación de educadores del MEN diseñado con el fin de proporcionar de manera efectiva, las herramientas pedagógicas necesarias para hacer frente a la prestación del servicio teniendo en cuenta capacidades y necesidades de los estudiantes para que ellos aprendan más y mejor y desarrollen competencias para la vida (Ministerio de Educación Nacional, 2021).

El 100% de virtualidad tiene la deserción más alta de las simulaciones implicando que posiblemente se repite el caso en el que los estudiantes están bajo la dirección académica de padres o cuidadores, desarrollando actividades y guías que los profesores han dejado en fotocopias, enviado por plataformas o por correo electrónico. En este extremo los estudiantes, que son niños o adolescentes, no tienen contacto académico presencial alguno con su profesor o con sus compañeros, lo que aunado a la desigualdad educativa territorial persistente en Colombia (Herrera, 2021) desencadena el abandono escolar masivo que de por sí es agudo ya que "de cada 100 estudiantes que ingresan a grado 5, solo 55 logran llegar a grado 11" (García y Maldonado, 2020, p. 6), en complemento, de cada 100 estudiantes que comienzan en sexto, 64 terminan undécimo (Forero y Saavedra, 2019), lo que equivale a terminar toda la educación básica completa.

Menores porcentajes de virtualidad tienen deserciones más bajas en las simulaciones lo que podría ser adaptado si se presentan nuevos periodos de confinamiento u otros picos de contagio mediante alternativas o combinación de ellas que no dejen fuera ningún niño o adolescente (García, 2021). En cualquiera de los casos, las actitudes de los profesores son elementos diferenciadores en cuanto a la educación inclusiva (Rodríguez et al., 2021) y al entendimiento de los contextos en los que se desarrolla el proceso de enseñanza-aprendizaje (Herrera, 2021). Más aún, la situación social por la que ha atravesado Colombia en 2020 y 2021 relacionadas con la pandemia y en 2021 intensificada por aspectos de orden público apuntan al aumento de los índices de pobreza y de afectaciones de salud física y mental, cuyo tratamiento deberá englobar propuestas educativas que reconozcan estas carencias y trabajen en fortalecer la educación como un proyecto de vida saludable, mental, física, económica y socialmente.

V. Conclusiones

Con la ejecución de las dos fases de la metodología de investigación, se alcanzó el objetivo de simular el comportamiento de la deserción escolar en preescolar, básica y media en Colombia tras la COVID-19. Al simular el comportamiento de las variables principales mediante la técnica de dinámica de sistemas en las alternativas educativas propuestas para el servicio en el *continuum* presencia-distancia, se obtuvo como resultado que a una mayor proporción de virtualidad (aumentado a razón de 20% en cada simulación), dadas las circunstancias de infraestructura tecnológica y capacitación en TIC y TAC para docentes y estudiantes, la deserción aumentó. A su vez, al intentar mitigar la deserción aumentando las horas de capacitación a docentes dentro de lo establecido en las políticas educativas del plan anual mínimo para profesores, las simulaciones mostraron la insensibilidad de la deserción. Por esto resulta insuficiente la sola capacitación a uno de los actores del proceso

educativo, siendo necesario emprender acciones conjuntas en varios frentes de tal forma que se propicie el acceso a elementos mínimos TIC y conectividad para estos.

La capacitación docente para las destrezas, habilidades y apropiación tecnológica sostenida en el tiempo mejora las competencias docentes recomendadas por la Unesco. Recomendación que deberá ser adoptada a cabalidad por Colombia en todas sus etapas para atender las particularidades educativas propuestas por la realidad de presencia-distancia para la educación. El *continuum* presencia-distancia obliga a la conectividad sin admitir aplazamiento y que hace parte del ejercicio del derecho a la educación de niños, niñas y adolescentes a nivel mundial.

La investigación educativa apoya al decisor de políticas públicas en la formulación de soluciones con efectos y alcances permitiendo verificar su dinámica para ejecutar, ajustar o realizar acciones con beneficio para la comunidad. No obstante, una investigación como la presente tiene limitaciones en lo que respecta a la demora en la publicación de hallazgos en estudios de investigación (contemplando los tiempos del proceso editorial que conlleva la publicación de artículos con datos de un año o más de antigüedad). Otra limitación es la ausencia de datos de caracterización de las instituciones educativas y de los estudiantes lo correspondiente a disponibilidad y acceso a elementos TIC. Datos muy ajustados a la realidad posibilitan la verificación del estado real, hecho que se constituye en una ventana de oportunidad para la investigación formal y la generación de conocimiento que beneficie a todos los actores del proceso educativo.

Contribución de autoría

Sandra Patricia Barragán-Moreno: conceptualización, investigación (60%), análisis formal, redacción, revisión y edición (60%).

Oscar Leonardo Lozano Galindo: metodología, investigación (40%), curación de datos, redacción, revisión y edición (40%).

Declaración de no conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Fuente de financiamiento

No se recibió financiamiento para la realización de este estudio.

Referencias

Arias-Velandia, N., Rincón-Báez, W. U. y Cruz-Pulido, J. M. (2021). Diferencia de logro geolocalizado en educación presencial y a distancia en Colombia. *Revista Electrónica de Investigación Educativa, 23*, e18, 1-22. https://doi.org/10.24320/redie.2021.23.e18.3711

Avendaño, W. R., Hernández, C. A. y Prada, R. (2021). Uso de las tecnologías de información y comunicación como valor pedagógico en tiempo de crisis. *Revista Historia de la educación Latinoamericana, 23*(36). https://doi.org/10.19053/01227238.11619

Bala, B. K., Arshad, F. M. y Noh, K. M. (2017). *Systems thinking. System dynamics.* Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-10-2045-2_2

Banco Mundial. (2021, Abril). *Global economic prospects*. https://www.worldbank.org/en/publication/global-economic-prospect

Barragán, S. P. (2015). La Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano en el camino de la retención estudiantil: más cerca de la reducción del abandono estudiantil en la Tadeo. Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano.

Barragán-Moreno, S. P. y Lozano-Galindo, O. L. (2022). Explanatory variables of dropout in Colombian public education: Evolution limited to coronavirus disease. *European Journal of Educational Research, 11*(1), 287-304. https://doi.org/10.12973/eu-jer.11.1.287

Bianchi, C. y Salazar, R. (2020). A feedback view of behavioural distortions from perceived public service gaps at 'street-level' policy implementation: The case of unintended outcomes in public schools. *Systems Research and Behavioral Science, 39*(1), 63–84. https://doi.org/10.1002/sres.2771

Decreto No.1075 (mayo 26 de 2015). *Por medio del cual se expide el decreto único reglamentario del sector educación*. Congreso de la República de Colombia. https://bit.ly/3QD6ZOj

Díaz Barriga, F. y Barrón, M. C. (2022). Desafíos del currículo en tiempo de pandemia: innovación disruptiva y tecnologías para la inclusión y justicia social. *Revista Electrónica de Investigación Educativa, 24*, e10 1-12. https://doi.org/10.24320/redie.2022.24.e10.4500

Díaz-Piñeres, A., Bravo-Rueda, C. y Sierra, G. E. (2020). Educación inclusiva en contexto: reflexiones sobre la implementación del Decreto 1421 de 2017. *Revista Historia de la Educación Latinoamericana, 22*(34), 265-290. https://doi.org/10.19053/01227238.9823

Elacqua, G. M., Sánchez, F. y Santos, H. (2020). School reorganization reforms: the case of multi-site schools in Colombia. *School Effectiveness and School Improvement, 32*(1), 141-172. https://doi.org/10.1080/09243453.2020.1797830

Findeter. (octubre, 2021). *Estudio del sector educativo colombiano*. https://bibliotecadigital.findeter.metabiblioteca.com/server/api/core/bitstreams/68d7ffc5-9013-408b-b2d0-4a95b036be62/content

Forero, D. y Saavedra, V. (2019). *Los 10 pasos para ser Colombia la mejor educada de América Latina*. Fedesarrollo. https://bit.ly/3vV29Ta

García, L. (2021). COVID-19 y educación a distancia digital: preconfinamiento, confinamiento y posconfinamiento. *RIED. Revista Iberoamericana de Educación a Distancia, 24*(1), 9-32. https://doi.org/10.5944/ried.24.1.28080

García, S. y Maldonado, D. (2020). Universalización de la educación media de calidad: el reto sigue para llegar a ser "Colombia la mejor educada". *Tribuna: Revista de Asuntos Públicos*, (13), 4-8. https://repositorio.uniandes.edu.co/entities/publication/2dd30b99-837e-4fc6-8c2b-79e45118863b

Guevara, A. (2021). Evaluación de los aprendizajes en tiempos de COVID-19, el caso del estado de Chihuahua. *Revista Electrónica de Investigación Educativa, 23*, e17, 1-16. https://doi.org/10.24320/redie.2021.23.e17.4335

Herrera, D. Y. (2021). El modelo de la alternancia y la desigualdad educativa territorial en la educación en Colombia. *Revista Internacional de Pedagogía e Innovación Educativa, 1*(2), 61-86. https://doi.org/10.51660/ripie.v1i2.38

Iqbal, S., Azevedo, J., Geven, k., Hasan, A. y Patrinos, H. (2020, 13 de abril). *We should avoid flattening the curve in education – Possible scenarios for learning loss during the school lockdowns*. World Bank Blog: Education for Global Development. https://blogs.worldbank.org/en/education/we-should-avoid-flattening-curve-education-possible-scenarios-learning-loss-during-school

Latorre, E. L., Castro, K. P. y Potes, I. D. (2018). *Las TIC, las TAC y las TEP: innovación educativa en la era conceptual*. Universidad Sergio Arboleda. https://bit.ly/3QzAWyW

Maroscia, C. y Ruiz, P. C. (2021). Las organizaciones de la sociedad civil en época de pandemia. Reflexiones hacia una nueva normalidad: ¿Nuevos desafíos o mismas realidades? *Ciencias Administrativas*, (17), 97-107. https://doi.org/10.24215/23143738e079

Mauris, L. A. y Domínguez, B. P. (2022). Los efectos de la crisis sanitaria del Covid-19 en la educación rural de Colombia. *Panorama, 16*(30), 1-21. https://doi.org/10.15765/pnrm.v16i30.3023

Ministerio de Educación Nacional. (2009). *Deserción estudiantil en la educación superior colombiana*. https://www.mineducacion.gov.co/sistemasdeinformacion/1735/articles-254702_libro_desercion.pdf

Ministerio de Educación Nacional. (2021, 23 de Junio). *Sistema colombiano de formación de educadores.* https://cms.mineducacion.gov.co/static/cache/binaries/articles-345485_anexo1.pdf?binary_rand=4264

Oliva, J. M. (2019). Distintas acepciones para la idea de modelización en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias, 37*(2), 5-24. https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2648

Organización de las Naciones Unidas. (2020, Agosto). *Policy brief: Education during COVID-19 and beyond.* https://bit.ly/3Xoa0Eg

Osiobe, E. U. (2020). Understanding Latin America´s educational orientations: Evidence from 14 nations. *Education Quarterly Reviews, 3*(2), 249-260. https://ssrn.com/abstract=3620652

Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S.... y Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *Systematics Reviews, 10*(89). https://doi.org/10.1186/s13643-021-01626-4

Pérez, A. (2022). Educación, desigualdad sociodigital en pandemia. *El Cotidiano, 233*, 69-76. https://www.researchgate.net/publication/389135541_Educacion_desigualdad_sociodigital_y_pandemia_El_Cotidiano

Ramírez, G. y Hernández, S. M. (febrero, 1 de 2021). *Una mirada a la educación preescolar desde la diversidad en pandemia Covid-19 y sus afectaciones.* [Trabajo de grado, Licenciatura en educación Preescolar]. Universidad Santo Tomás, Colombia. http://hdl.handle.net/11634/31926

Reimers, F. M. y Schleicher A. (2020). *Un marco para guiar una respuesta educativa a la pandemia del COVID-19*. Enseña Perú. https://globaled.gse.harvard.edu/files/geii/files/un_marco_para_guiar_una_respuesta_educativa_a_la_pandemia_del_2020_del_covid-19_.pdf

Rodríguez, A., Gallego, J. L., Navarro, A. y Caurcel, M. J. (2021). Perspectivas actitudinales de docentes en ejercicio y en formación hacia la educación inclusiva. *Psicoperspectivas, 20*(1), 1-13. https://doi.org/10.5027/psicoperspectivas-Vol20-Issue1-fulltext-1892

Rodríguez-Lizarralde, C., López-Villamil, S. y Barrera-García, A. D. (2022). Inclusión educativa en pandemia: interseccionalidad y situación de menores venezolanos en Bogotá. *Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales, Niñez y Juventud, 20*(2), 1-27. https://dx.doi.org/10.11600/rlcsnj.20.2.5123

Sanabria, L. A., Pérez, M. C. y Riascos, L. E. (2020). Pruebas de evaluación Saber y PISA en la Educación Obligatoria de Colombia. *Education Siglo XXI, 38*(3), 231-254. http://dx.doi.org/10.6018/educatio.452891

Sánchez, P. A., Saavedra, C. E. y Figueroa, C. (2020). Efectos de las tecnologías de la información y las comunicaciones en la educación en Colombia. *Revista Espacios, 41*(48), 303-313. https://www.revistaespacios.com/a20v41n48/a20v41n48p22.pdf

Sañudo, L. (2022). Del abandono a la permanencia escolar en secundaria. Profesorado, *Revista de Currículum y Formación de Profesorado, 26*(1), 213- 233. https://revistaseug.ugr.es/index.php/profesorado/article/view/13535

Senge, P. (2010). *La quinta disciplina* (2.ª ed.). Granica.

Serna, J. S., Martínez, D. J. y Arrubla, J. A. (2020). Educación rural y dispositivo evaluación en tiempos de 'COVID-19': voces de profesores de matemática. *Revista Latinoamericana de Etnomatemática, 13*(1), 86-103. https://doi.org/10.22267/relatem.20131.43

Serna, R. y Flores, Z. A. (2015, 22 de Julio). Modelación dinámica del efecto de las políticas del gobierno que se implementaron para la educación en Perú desde 1990 hasta 2010. 13th LACCEI Annual International Conference: "Engineering Education Facing the Grand Challenges, What Are We Doing?", Santo Domingo, R. D. https://www.laccei.org/LACCEI2015-SantoDomingo/StudentPapers/SP054.pdf

Tinto, V. (1993). Leaving college. Rethinking the causes and cures of student attrition (2.ª ed.). University Chicago Press.

Williams, B. y Hummelbruner, R. (2011). *Systems concepts in action*. Stanford University Press.

Anexo I. Descripción de variables del modelo

Variable	Ecuación que la define	Unidades	Interpretación	Fuente de información
Actividades del estudiante	Estudiantes de la IE * Actividades por estudiante	Actividades	Trabajos en aula	Serna y Flores (2015)
Actividades-estudiante		Actividades/Estudiante	Mínimo año	Parámetro investigación
Deserción	Estudiantes de la IE*Tasa de deserción*Porcentaje de virtualidad en las posibilidades educativas-Efecto de los nacionales municipales	Estudiantes/Año	Estudiantes que abandonan	http://bi.mineducacion.gov.co:8380/eportal/web/planeacion-basica/76
Discrepancias docentes capacitados	Necesidad de docentes capacitados-Docentes capacitados	Docentes	Docentes capacitar en TIC	https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/educacion/bol_EDUC_19.pdf
Docentes capacitados	INTEG (Capacitar docentes, 280.891)	Docentes	Docentes formados	https://colombiatic.mintic.gov.co/679/w3-propertyvalue-36665.html
Resultados nacionales	IF THEN ELSE (Resultados nacionales en educación<55. 0, 0.0001)		Afectación	https://www.icfes.gov.co/documents/20143/193560/Guia%20de%20interpretacion%20y%20uso%20de%20resultados%20del%20examen%20saber%2011%202016%20-%20entidades%20territoriales.pdf
Mejora conectividad	0.3		Afectación	Parámetro investigación
Variables individuales	0.11		Afectación	Parámetro investigación
Variables institucionales	0.25		Afectación	Parámetro investigación
Variables socioeconómicas	0.22		Afectación	Parámetro investigación
Estructura matriz curricular	Docentes capacitados*Tasa de habilidades docentes*(1+porcentaje de virtualidad en las posibilidades educativas)		Tasa habilidades docentes	https://repositorio.banrep.gov.co/bitstream/handle/20.500.12134/9560/DTSERU%20276.pdf
Estudiantes IE	INTEG (Nuevos estudiantes-Graduación-Deserción 8.0777e+06)	Estudiantes	Matrícula año	http://bi.mineducacion.gov.co:8380/eportal/web/planeacion-basica/sector

Variable	Ecuación que la define	Unidades	Interpretación	Fuente de información
Graduación	Estudiantes de la IE*Tasa de graduación	Estudiantes/ Año	Graduandos	http://bi.mineducacion.gov.co:8380/eportal/web/planeacion-basica/tasa-de-repitencia
Horas capacitación	260	Horas/Año	año	Parámetro investigación
Incremento de resultados	Nivel de adaptación a posibilidades educativas*Actividades contextualizadas que involucran al estudiante *Tasa de competencias de aprendizaje	Puntos/ Año	Puntos para ascender ICFES	https://www.icfes.gov.co/documents/20143/193560/Guia%20interpretacion%20uso%20resultados%20saber%2011%20-%20establecimientos%20educativos-2017.pdf
Necesidad Docentes capacitados	0.7+(0.1+Porcentaje de virtualidad en las posibilidades educativas)	Docentes	Docentes a capacitar	Variable definida
Adaptación a posibilidades educativas	1-(Efecto de variables institucionales+Efecto de mejora en conectividad+Efecto de variables individuales) +Efectos de variables socioeconómicas		Efecto de no acciones	Variable definida
Nuevos estudiantes	Población estudiantil potencial*Tasa de matriculados	Estudiantes/ Año	Nueva matricula	Variable definida
Planta docente	Razón docente/ estudiantes*Estudiantes de la IE	Docentes	Docentes Sistema	https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/educacion/bol_EDUC_19.pdf
Población potencial	8.613.646	Estudiantes		https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/poblacion/proyepobla06_20/proyecciones-nivel-nacional-departamental-por-sexo-y-edades-simples-hasta-80-anos-y-mas.xls
Porcentaje de virtualidad posibilidades educativas	0.1	[0.1]		Parámetro investigación
Razón docente/estudiantes	$\frac{1}{32}$	Docentes/Estudiantes	Estudiantes/ docente	https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=6405

Variable	Ecuación que la define	Unidades	Interpretación	Fuente de información
Resultados prueba gubernamental	INTEG (Incremento en los resultados*Estructura de la matriz curricular,252)	Puntos	Resultados prueba saber	https://www.icfes.gov.co/documents/20143/2211695/Informe+nacional+de+resultados+Saber+11+2020.pdf
Resultados nacionales	Resultados en prueba gubernamental*$\frac{0.25}{3}$	Puntos	Puntos por capacidades iniciales	https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Desarrollo%20Territorial/MDM/Resultados_MDM_2017.pdf
Tasa de competencias aprendizaje	0.94	Dmnl (sin dimensión)		Parámetro investigación
Tasa deserción	0.1579	1/ Año	Anual	http://bi.mineducacion.gov.co:8380/eportal/web/planeacion-basica/76
Tasa graduación	0.9731	1/Año		
Tasa habilidades docentes	0.3	Aprendizaje [0.1]		Parámetro investigación
Tasa matriculados	0.97	Estudiantes	Anual	http://bi.mineducacion.gov.co:8380/eportal/web/planeacion-basica/tasa-de-repitencia