

Inteligencia artificial y planeación presupuestaria en México: promesas y retos en América Latina para la asignación del gasto público

**David Valle-Cruz,
Vanessa Fernández-Cortez y
J. Ramón Gil-García**

David Valle-Cruz

Profesor de la Universidad Autónoma del Estado de México, integrante del Sistema Nacional de Investigadores Nivel 1 y miembro de Laboratorio de Innovación e Inteligencia Artificial: i-Lab. Profesor de la Escuela de Negocios de la Universidad de las Américas Puebla en México. Ingeniero en Computación, máster en Informática y doctor en Ciencias Económico-Administrativas. Ha sido investigador visitante en el Center for Technology in Government (CTG), SUNY Albany, New York; y en el Laboratorio de Ciencias de la Computación y Sistemas Multiagentes del CINVESTAV, Guadalajara, México. Editor del "Handbook of Research on Applied Artificial Intelligence and Robotics for Government Processes" publicado en IGI Global y ponente en la NASA Space App Challenge. Obtuvo el premio al mejor artículo de investigación por la Digital Government Society. Ha publicado en *Government Information Quarterly*, *Cognitive Computation*, *First Monday*, *Information Polity*, e *International Journal of Public Sector Management*, entre otras revistas. Sus intereses de investigación están relacionados con la inteligencia artificial aplicada y la ciencia de datos para la toma de decisiones estratégica.

Las comunicaciones con el autor pueden dirigirse a:
Unidad Académica Profesional Tianguistenco
Universidad Autónoma del Estado de México
Paraje el Tejocote, San Pedro Tlaltizapán
Santiago Tianguistenco, México
E-mail: davacr@uaemex.mx

Vanessa Fernández-Cortez

Licenciada en Contabilidad y máster en Finanzas por su trabajo sobre la optimización de carteras de inversión con algoritmos genéticos. Doctoranda en Finanzas en el Instituto de Estudios Superiores en Finanzas, México. Su interés de investigación está relacionado con la inteligencia artificial aplicada al mercado de valores y a los presupuestos públicos. Recibió el premio a la mejor investigación de la Conferencia Internacional Anual sobre Investigación en Gobierno Digital de 2020 por su trabajo "Towards Smarter Public Budgeting? Understanding the Potential of Artificial Intelligence Techniques to

Support Decision Making in Government”. Es coautora del artículo “Does Twitter Affect Stock Market Decisions? Financial Sentiment Analysis During Pandemics: a Comparative Study of the H1N1 and the COVID-19 Periods”, publicado en la revista *Cognitive Computation*. Actualmente es profesora del Departamento de Finanzas de la Universidad Autónoma del Estado de México.

Las comunicaciones con la autora pueden dirigirse a:
Facultad de Contaduría y Administración
Universidad Autónoma del Estado de México
Cerro de Coatepec s/n, Ciudad Universitaria
Toluca de Lerdo, México
E-mail: vfernandezc@uaemex.mx

J. Ramón Gil-García

Profesor investigador del Departamento de Administración y Políticas Públicas y director del Centro de Tecnología en el Gobierno de la Universidad Estatal de Nueva York en Albany. Miembro de la Academia Mexicana de Ciencias y del Sistema Nacional de Investigadores de México Nivel III. En 2013 fue seleccionado para el Premio a la Investigación de la Academia Mexicana de Ciencias. Fue nombrado “Una de las 100 personas más influyentes en el gobierno digital a nivel mundial” por Apolitical en 2018 y 2019. Recibió un premio inaugural de la Sociedad de Gobierno Digital (DGS). Es profesor de la Escuela de Negocios de la Universidad de las Américas Puebla en México, profesor afiliado del Centro Nacional para el Gobierno Digital de la Universidad de Massachusetts Amherst y profesor afiliado del Programa de Doctorado en Ciencias de la Información del Colegio de Gestión de Emergencias, Seguridad Nacional y Ciberseguridad de la Universidad Estatal de Nueva York en Albany, Estados Unidos.

Las comunicaciones con el autor pueden dirigirse a:
Escuela de Negocios y Economía
Universidad de las Américas Puebla
Ex Hacienda Sta. Catarina Mártir s/n
San Andrés Cholula, 72810 Puebla, México
E-mail: jgil-garcia@albany.edu

Inteligencia artificial y planeación presupuestaria en México: promesas y retos en América Latina para la asignación del gasto público

La elaboración del presupuesto público es un proceso complejo que depende de una gran cantidad de factores, incluyendo la consideración de recursos escasos y la calidad de la información disponible. La inteligencia artificial (IA) tiene el potencial de descubrir modelos que ayuden a explicar fenómenos sociales complejos, como el proceso de planeación presupuestaria. Sin embargo, actualmente existen pocos trabajos que exploran la aplicación de la IA en este contexto. Este artículo tiene como objetivo proponer una perspectiva algorítmica del análisis del presupuesto público de México, al explorar el potencial del perceptrón multicapa y los algoritmos genéticos multiobjetivo para la asignación de recursos a cada uno de los gastos del presupuesto. La pregunta que guía la investigación es: ¿cuál es el potencial del perceptrón multicapa y los algoritmos genéticos multiobjetivo en la toma de decisiones en cuanto a la asignación del presupuesto público mexicano? El estudio analiza los datos abiertos del Banco Mundial relacionados con el presupuesto de gastos de México y datos para la medición de la pobreza provistos por el Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social para el periodo 1990-2020. También, se identifican algunas limitaciones del trabajo derivadas de la complejidad inherente en el proceso de asignación del gasto público. El modelo mostró indicadores que permiten comprender la importancia de los gastos del presupuesto público mexicano para promover el desarrollo económico, así como potencialmente reducir la inflación y la desigualdad. Del análisis, basado en técnicas de IA, se encontró que los aspectos más importantes para generar un presupuesto público efectivo y eficiente deben enfocarse, principalmente, en combatir la pobreza, invertir en el sector agrícola, incentivar la industria, generar políticas para la mejora del sector salud, así como promover la investigación y el desarrollo.

Palabras clave: Presupuesto; Inteligencia Artificial; Gasto Público; Toma de Decisiones; Sector Público; México

Artificial Intelligence and Budget Planning in Mexico: Promises and Challenges in Latin America for Public Spending Allocation

Public budgeting is a complex process that depends on multiple factors, including the consideration of scarce resources and the quality of available information. Artificial intelligence (AI) has the potential to discover models that help explain complex social phenomena, such as the budget planning.

Recibido: 29-11-2022 y 21-05-2023 (segunda versión). Aceptado: 26-05-2023.

However, currently there is little work exploring the application of AI in this context. This paper aims to propose an algorithmic perspective for the allocation of public budget in Mexico by exploring the potential of multilayer perceptron and multi-objective genetic algorithms. The guiding research question is: what is the potential of the multilayer perceptron and multi-objective genetic algorithms in decision making regarding the allocation of the Mexican public budget? The study analyzes open data from the World Bank related to Mexico's expenditure budget and poverty measurement data provided by the National Council for the Evaluation of Social Development Policy for the period 1990-2020. Additionally, some limitations of this work derived from the inherent complexity of the public expenditure allocation are identified. The model showed indicators that allow us to understand the importance Mexican public budget expenditures in promoting economic development, as well as potentially reducing inflation and inequality. From the analysis, based on AI techniques, it was found that the most important aspects to generate an effective and efficient public budget should focus mainly on fighting poverty, investing in the agricultural sector, encouraging industry, generating policies for the improvement of the health sector, as well as promoting research and development.

Key words: Budget; Artificial Intelligence; Public Expenditure; Decisions Making; Public Sector; Mexico

Introducción

La pandemia por COVID-19 causó estragos en la economía mundial. Los gobiernos tuvieron que realizar importantes ajustes en la asignación del presupuesto ante un hecho sin precedentes (Acevedo, 2020; Medina, 2020). Sin embargo, esta situación no es exclusiva de la pandemia, ya que el objetivo fundamental de la economía es el uso eficiente de los recursos escasos (Velázquez, 2015). Esta preocupación se ve también reflejada en las evaluaciones empíricas de eficacia de las actividades del sector público en términos presupuestales (Afonso ...[et al], 2010; Chan y Karim, 2012).

La teoría económica reconoce que el gasto público es el motor del crecimiento económico (Fonchamnyo y Sama, 2016). La elaboración del presupuesto público es un proceso complejo que depende de una gran cantidad de factores, incluyendo recursos escasos y una buena calidad de información para elaborarlo (Calderón y Sánchez, 2012; Ros, 2004). Las fuerzas y los intereses políticos también intervienen en la elaboración del presupuesto (Flores ...[et al], 2011). Otros elementos en términos presupuestarios se relacionan con las políticas que cada administración tiene en la agenda, así como el modelo constitucional y las situaciones emergentes (Castellano, 2013; Facchini, 2018).

La asignación del presupuesto no es trivial, ya que se enfrenta a la distribución de recursos escasos entre las necesidades de capital y las de funcionamiento, con el objetivo de maximizar la riqueza y el bienestar general mediante propuestas entre proyectos alternativos.

Las técnicas de IA tienen el potencial de mejorar la toma de decisiones del gobierno y pueden ser una herramienta de apoyo para sus funcionarios, mediante la generación de nuevas ideas y enfoques innovadores que faciliten la explotación del *Big Data*, los datos abiertos y el entendimiento de la dinámica entre múltiples variables.

La asignación del presupuesto no es trivial, ya que se enfrenta a la distribución de recursos escasos entre las necesidades de capital y las de funcionamiento, con el objetivo de maximizar la riqueza y el bienestar general mediante propuestas entre proyectos alternativos (Afonso ...[et al], 2010; Chan y Karim, 2012; Fonchamnyo y Sama, 2016). Aunado a esto, la racionalidad económica y política debería estar estrechamente vinculada a través del proceso de evaluación de beneficios y la determinación del costo social del capital (Gómez, 2004). Sin embargo, existe un conflicto ya que la cuantificación de los beneficios y los costos de los proyectos de capital dista mucho de ser sencilla y los beneficios suelen ser intangibles (Boden, 1998). Esta complejidad genera conflictos y dificultades en la toma de decisiones, sobre todo ante situaciones especiales y poco conocidas. En este contexto la toma de decisiones se ha apoyado en paradigmas potenciados por algoritmos de inteligencia artificial (IA) que permiten generar escenarios, modelos y simulaciones que pueden soportar las decisiones presupuestarias (Tames ...[et al], 2020).

La IA es una disciplina que intenta simular el comportamiento de los seres vivos. Surge de la conjetura de que todos los aspectos del aprendizaje, o de cualquier otra característica de la inteligencia, pueden ser descritos de modo tan preciso que se pueda construir una máquina capaz de simularlos (Valle-Cruz ...[et al], 2020). Actualmente, la IA se ha convertido en una herramienta para apoyar la toma de decisiones y es un tema esencial en la agenda de los gobiernos de todo el mundo, debido a sus beneficios potenciales en términos de eficiencia y automatización (Dwivedi ...[et al], 2019; Engin y Treleaven, 2019). La promesa de la IA en los gobiernos se relaciona con la mejora de la transparencia, la calidad de los servicios y la mayor generación de valor público, así como con la reducción de errores (Corvalán, 2018; Valle-Cruz, 2019). En contraste, la IA podría sustituir masivamente la mano de obra, sobre todo en tareas rutinarias, así como recrudescer las desigualdades y propiciar la manipulación algorítmica (Engin y Treleaven, 2019).

De forma general, las técnicas de IA tienen el potencial de mejorar la toma de decisiones del gobierno y pueden ser una herramienta de apoyo para sus funcionarios, mediante la generación de nuevas ideas y enfoques innovadores que faciliten la explotación del *Big Data*, los datos abiertos y el entendimiento de la dinámica entre múltiples variables (Sun y Medaglia, 2019; Filgueiras, 2021). De esta manera, la IA tiene el potencial de descubrir modelos que se ajusten o que expliquen los datos observados en fenómenos sociales complejos (Dhar, 2013; Valle-Cruz ...[et al], 2021).

Dada la importancia del presupuesto en el sector público, es necesario obtener más evidencia empírica sobre el potencial de las técnicas de IA para mejorar la eficiencia y la toma de decisiones en el gobierno.

A pesar de que los fenómenos sociales son difíciles de explicar a través de modelos matemáticos, estadísticos o algorítmicos, la ventaja de generar dichos modelos se fundamenta en el potencial de predecir, entender y explicar el comportamiento de los sistemas mediante el control y la manipulación de sus entradas y salidas (Hindman, 2015; Miller, 2019; Stevens, 2012; Valle-Cruz ...[et al], 2020). Las técnicas de IA permiten, a través de sus algoritmos inteligentes y modelos matemáticos, generar sistemas computacionales y soluciones alternativas útiles para la toma de decisiones. Estas técnicas permiten procesar grandes y pequeñas cantidades de datos en diferentes formatos y detectan patrones a través de métodos no lineales y heurísticos (Alizamir ...[et al], 2020; Kim, 2008; West ...[et al], 1997).

Actualmente, existen pocos trabajos que exploran la aplicación de la IA en el proceso presupuestario (Dobrescu, 2015; Fernández-Cortez ...[et al], 2020; Valle-Cruz ...[et al], 2020, 2021). Dada la importancia del mismo en el sector público, es necesario obtener más evidencia empírica sobre el potencial de las técnicas de IA para mejorar la eficiencia y la toma de decisiones en el gobierno. Por tal motivo, este trabajo tiene como objetivo proponer una perspectiva algorítmica del análisis del presupuesto público de México. La pregunta que guía la investigación es: ¿cuál es el potencial del perceptrón multicapa y los algoritmos genéticos multiobjetivo en la toma de decisiones para la asignación del presupuesto público mexicano? El estudio analiza los datos abiertos del Banco Mundial relacionados con el presupuesto de gastos de México y datos que miden la pobreza proveídos por el Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL), en el periodo de 1990 a 2020. Con base en el análisis y los resultados obtenidos, también se identifican algunas limitaciones derivadas de la complejidad inherente al proceso de asignación presupuestaria.

La segunda sección presenta una revisión sistemática de la literatura, fundada en la metodología PRISMA, sobre los elementos del presupuesto público relacionados con los gastos presupuestarios (entradas) y los indicadores de crecimiento y bienestar social (salidas) que se utilizaron en el análisis de datos basado en IA. En la tercera sección se describen los métodos (algoritmos) de IA para analizar los datos abiertos del Banco Mundial y del CONEVAL relacionados con el modo en que los gastos del presupuesto público afectan el PIB, la inflación y el índice de Gini. En la cuarta sección se muestran los resultados del análisis con el perceptrón multicapa y los algoritmos genéticos multiobjetivo. Finalmente, se presentan las conclusiones, limitaciones y áreas para futuras investigaciones.

1. Revisión de literatura: un enfoque con la metodología PRISMA

Esta sección está dividida en tres partes y tiene el objetivo de brindar las bases teóricas para el enfoque algorítmico del presupuesto inteligente. Primero se presentan las clasificaciones del presupuesto público y se vislumbra la perspectiva algorítmica. Después se describe el proceso sistemático de la selección de artículos publicados en Web of Science y Scopus relacionados con el análisis de los gastos presupuestarios y su efecto en ciertos indicadores de crecimiento económico y bienestar social. Finalmente se presenta la descripción de los artículos científicos encontrados para el análisis algorítmico del presupuesto público mexicano.

1.1 Hacia la perspectiva algorítmica del presupuesto público

El presupuesto público tiene como objetivo asignar recursos para la provisión de servicios públicos, combatir la corrupción y algunas de las prioridades de la vida pública nacional. Asimismo, busca orientar las políticas públicas hacia programas y proyectos que requieran una asignación que potencie el alcance de sus acciones y contribuya al desarrollo con bienestar (Transparencia Presupuestaria, 2020). Además, el presupuesto público se puede clasificar de cuatro formas: programático, administrativo, funcional y económico (Congreso de la Unión, 2007).

Por otro lado, la clasificación programática divide el gasto público en programable y no programable. El primero se utiliza para implementar y ejecutar planes y programas específicos del gobierno, mientras que el segundo se utiliza para gastos generales no relacionados con ningún programa en concreto. Por su parte, la clasificación administrativa se consolida según la entidad o unidad administrativa responsable del gasto en tres grandes grupos: el gobierno federal, el sector paraestatal o entidades de control presupuestario directo, y las entidades responsables del ejercicio del gasto no programable. Cada rama incluye otras unidades responsables que dependen de ellas, como los ministerios, direcciones y coordinaciones. La clasificación funcional agrega el gasto presupuestario por tipo de funciones públicas y relacionadas con la provisión y suministro de bienes públicos. Por último, la clasificación económica organiza los gastos por objeto, según la naturaleza económica del gasto, ya sea para mantener el proceso operativo corriente del Estado o para mantener o ampliar su escala de operación, infraestructura y patrimonio público. Esta última clasificación divide los gastos en corrientes y de capital.

Desde una perspectiva algorítmica, el presupuesto público podría mejorar su eficiencia y eficacia en la asignación de recursos mediante

La perspectiva algorítmica del presupuesto público requiere una visión clara de los líderes, cambios organizacionales importantes y ajustes en las políticas públicas, así como contar con la infraestructura y el capital intelectual adecuados para su implementación.

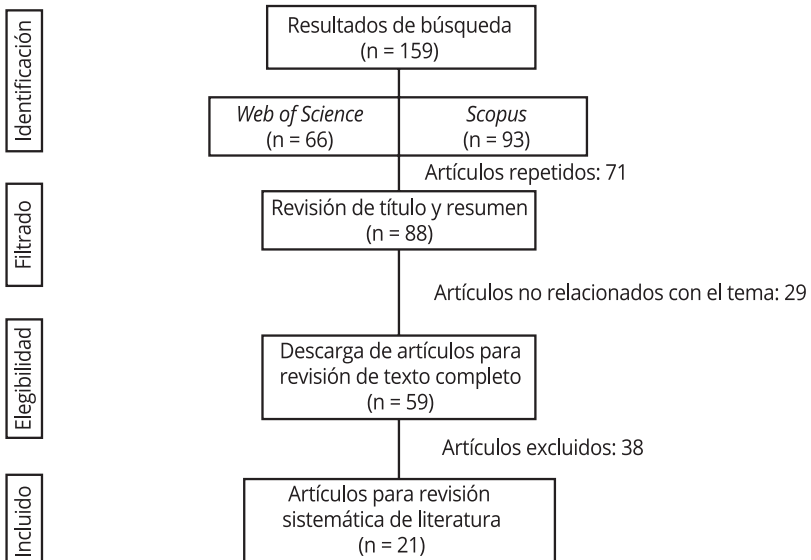
el uso de inteligencia artificial y analítica de datos. Esto implica la utilización de diferentes factores organizacionales, estratégicos y operativos que mejoren la toma de decisiones y permitan la utilización de un presupuesto dinámico ajustable a las necesidades de los gobiernos y la sociedad (Salvador y Ramió, 2020).

El presupuesto inteligente, como concepto emergente, se caracteriza por identificar y priorizar las necesidades de la sociedad mediante la sinergia de los expertos en el ámbito público y los algoritmos de inteligencia artificial. Los resultados más palpables incluyen mejoras en términos de eficiencia y eficacia en la asignación de recursos y la automatización del presupuesto, a través del análisis de grandes cantidades de datos de manera rápida y precisa. Sin embargo, la perspectiva algorítmica del presupuesto público requiere una visión clara de los líderes, cambios organizacionales importantes y ajustes en las políticas públicas, así como contar con la infraestructura y el capital intelectual adecuados para su implementación (Oszlak, 2020).

1.2. Proceso de selección sistemática de artículos científicos

El proceso de identificación de artículos sobre los elementos del presupuesto público (entradas y salidas) en la literatura científica se basa en la metodología PRISMA (McInnes ...[et al], 2018; Selçuk, 2019) (Figura 1).

Figura 1
Diagrama de flujo basado en PRISMA



Fuente: elaboración propia.

A la metodología PRISMA se le agregó una etapa inicial para encontrar, por medio de un tesauo, los sinónimos y términos relacionados con las palabras clave de interés en la revisión sistemática de la literatura. Dado que el interés de los autores fue encontrar los artículos científicos sobre los elementos y resultados del presupuesto público, las palabras clave (en inglés) fueron: 1) *elements*, 2) *budget*, 3) *government* y 4) *results*. A continuación, se describen las etapas del proceso para la revisión sistemática de la literatura.

Etapa 1: Uso de tesauo

En primer lugar, se identificaron sinónimos y términos relacionados con las palabras clave. Como resultado, se encontraron los siguientes términos relacionados: 1) para *elements*: *components* y *factors*; 2) para *budget*: *allocation*, *account*, *bulk*, *finance*, *funds*, *quantity*, *expenses*, *fiscal*, *spending*, *income*, *fiscal year*; 3) para *government*: *national* y *public*; y 4) para *results*: *consequences*, *issue*, *outcome* y *output*.

Etapa 2: Identificación en Web of Science y Scopus

Con los términos encontrados en la etapa 1, se realizó una búsqueda lógica de los artículos en Web of Science y Scopus para identificar la literatura científica relacionada con el análisis de los elementos del presupuesto público. Para afinar los resultados, se seleccionaron solo los documentos de las áreas de economía, finanzas, ciencias sociales y políticas públicas que se relacionaran con el tema de investigación. Se encontraron 66 artículos en Web of Science y 93 en Scopus (Tabla 1).

Tabla 1
Consultas aplicadas en Web of Science y Scopus

| Base de datos | Consultas aplicadas en noviembre de 2020 | Artículos científicos |
|----------------|---|-----------------------|
| Web of Science | <i>TI= (("Elements" OR "Components" OR "Factors" OR "Results" OR "Consequences" OR "Issue" OR "Outcome" OR "Output") AND ("Government" OR "National" OR "Public") AND ("Budget" OR "Allocation" OR "Account" OR "Bulk" OR "Finance" OR "Funds" OR "Quantity" OR "Expenses" OR "Fiscal" OR "Spending" OR "Income" OR "Fiscal Year"))</i> | 66 |

Tabla 1 (continuación)
Consultas aplicadas en Web of Science y Scopus

| Base de datos | Consultas aplicadas en noviembre de 2020 | Artículos científicos |
|---------------|--|-----------------------|
| Scopus | TITLE(("Elements" OR "Components" OR "Factors" OR "Results" OR "Consequences" OR "Issue" OR "Outcome" OR "Output") AND ("Government" OR "National" OR "Public") AND ("Budget" OR "Allocation" OR "Account" OR "Bulk" OR "Finance" OR "Funds" OR "Quantity" OR "Expenses" OR "Fiscal" OR "Spending" OR "Income " OR "Fiscal Year")) | 93 |

Fuente: elaboración propia.

Etapa 3: Filtrado y eliminación de artículos repetidos

En la tercera etapa, se excluyeron 71 artículos repetidos. Quedaron 88 artículos científicos relacionados con los elementos del presupuesto público en Web of Science y Scopus.

Etapa 4: Elegibilidad, selección y descarga

En la cuarta etapa, se revisaron los títulos y los resúmenes. Se omitieron 29 trabajos que no estaban relacionados con los elementos del presupuesto público. Como resultado quedaron 59 artículos científicos que se descargaron para un análisis en profundidad.

Etapa 5: Incluidos en la revisión sistemática de la literatura

Después de analizar los documentos descargados, se descartaron 38 que no estaban relacionados con el tema central de esta investigación. Además, se incluyó un artículo de la *Revista del CLAD Reforma y Democracia*, debido a que el tema del documento es relevante. De esta forma, el estado del arte de los elementos del presupuesto público consta de 22 artículos científicos (Tabla 2). Estos documentos sirvieron para identificar y explicar los gastos del presupuesto público y los indicadores de crecimiento y bienestar social. Además, fundamentan el modelo de presupuesto inteligente, basado en una visión algorítmica, ya que representan entradas y salidas del proceso presupuestario. En la siguiente sección se describe su contenido.

Tabla 2
Elementos del presupuesto público identificados en la revisión sistemática de la literatura

| Elementos | Autores |
|---|---|
| <i>Gastos del presupuesto público (entradas del modelo)</i> | |
| Agricultura | (Marsh, 2015; Mogues, 2015) |
| Ahorro económico | (Leiderman y Razin, 1991; Wang y Alvi, 2011) |
| Crecimiento poblacional | (Aladejare, 2020; Marsh, 2015; Carrillo ...[et al], 2021) |
| Desempleo | (Fraile y Ferrer, 2005; Jensen, 2012; Wang y Alvi, 2011) |
| Deuda pública | (De Haan y Sturm, 1997; McCausland y Theodossiou, 2015) |
| Educación | (Afonso ...[et al], 2010; Crenshaw, 1992; Dragomirescu-Gaina, 2015; Fonchamnyo y Sama, 2016; Marsh, 2015; Russo y Verzichelli, 2016; Tang, 2020; Wang y Alvi, 2011) |
| Gastos operativos | (De Haan y Sturm, 1997; McCausland y Theodossiou, 2015) |
| Industria | (Kopańska y Asinski, 2019; Wang y Alvi, 2011) |
| Investigación y desarrollo | (Fonchamnyo y Sama, 2016; Leiderman y Razin, 1991) |
| Salud pública | (Fonchamnyo y Sama, 2016; McLaren y Dutton, 2020) |
| Seguridad pública | (Wassmer ...[et al], 2009) |
| Subsidios y transferencias | (Afonso ...[et al], 2010) |
| Tasa de pobreza | (Karim y Noy, 2020) |
| <i>Indicadores de crecimiento económico y bienestar social (salidas del modelo)</i> | |
| PIB | (Aladejare, 2020; Dragomirescu-Gaina, 2015; Heim, 2016; Wang y Alvi, 2011) |
| Inflación | (Aladejare, 2019 y 2020; Fonchamnyo y Sama, 2016) |
| Desigualdades de ingresos | (Afonso ...[et al], 2010; Crenshaw, 1992; Facchini, 2018; Marsh, 2015; Carrillo ...[et al], 2021) |

Fuente: elaboración propia.

1.3 Gastos y resultados del presupuesto público

El presupuesto público ha sido objeto de estudio por diversas disciplinas, entre ellas la economía (Baumol, 1967; Musgrave, 1973), las ciencias políticas (Gruber, 2005; Wildavsky y Caiden, 1988) y la teoría de las organizaciones (Gil-García y Luna-Reyes, 2003). En su elaboración se consideran elementos como el conocimiento de las

El enfoque algorítmico analiza el efecto de la asignación del presupuesto público con el potencial de generar el crecimiento económico y bienestar social, basado en los principales rubros de la clasificación funcional seleccionados con base en la revisión de la literatura existente.

condiciones socioeconómicas, las políticas públicas y la toma de decisiones. Los factores socioeconómicos, como el PIB per cápita y la tasa de desempleo, son los más utilizados para medir las condiciones económicas. Se sabe que el PIB per cápita, además de representar el crecimiento económico de un país, está asociado positivamente con el gasto público (Tang, 2020). Sin embargo, el abuso de políticas que promueven el gasto público puede generar inflación y provocar crisis económicas o alargar periodos de recesión (Baumol, 1967; Ono, 2011).

En este sentido, el enfoque algorítmico analiza el efecto de la asignación del presupuesto público con el potencial de generar el crecimiento económico y bienestar social, basado en los principales rubros de la clasificación funcional seleccionados con base en la revisión de la literatura existente. De acuerdo con el histórico de datos, los rubros seleccionados han generado buenos resultados en periodos anteriores en México, pero también en otros países.

Por esta razón, se realizó un análisis utilizando los rubros de gastos del presupuesto público como entradas. De algunas áreas de las políticas públicas, como ganadería, pesca y minería, no se cuenta con datos históricos durante el periodo de la investigación, por lo que no se pudieron incluir en el análisis correspondiente. Además, a lo largo de los años se han agregado gastos en la clasificación del presupuesto como consecuencia de las prioridades de política pública de los distintos gobiernos de turno. Asimismo, las salidas del enfoque algorítmico se vinculan con el crecimiento económico medido por el PIB y la inflación, así como el bienestar social que puede medirse mediante el índice de Gini. Los datos disponibles relacionados con las entradas y salidas propuestas se obtuvieron de los repositorios del Banco Mundial y del CONEVAL y, como ya se mencionó, están basados en la literatura existente.

Más específicamente, la selección de las entradas de la perspectiva algorítmica se basa en su relevancia e impacto en la economía y el bienestar social de un país, según la literatura revisada. De manera que cada una de las áreas de gasto del presupuesto público seleccionadas tiene implicaciones específicas en estos aspectos. Por ejemplo, la agricultura es crucial en muchos países y el apoyo gubernamental a través del presupuesto puede tener un impacto significativo en la producción y exportación de productos agrícolas, lo que a su vez puede influir en el crecimiento económico del país. El crecimiento poblacional es un factor importante para considerar en el presupuesto público, ya

que puede tener implicaciones en áreas como la educación y la salud pública. El desempleo es una preocupación económica clave y puede ser influenciado por la inversión gubernamental en áreas como la educación o la investigación y desarrollo. La investigación y el desarrollo son áreas clave para la innovación y el progreso tecnológico, lo que puede tener implicaciones significativas en el crecimiento económico y la competitividad de un país a largo plazo. La tasa de pobreza es un indicador importante del bienestar social y la inversión gubernamental en áreas como la educación, la salud pública, los subsidios y transferencias, pueden tener un impacto significativo en la reducción de la pobreza y el bienestar social.

La perspectiva algorítmica del presupuesto público se basa en la selección cuidadosa de áreas de gasto que, según muestra la literatura, tienen un impacto directo en el crecimiento económico y el bienestar social. Al utilizar herramientas algorítmicas y análisis de datos, esta perspectiva puede proporcionar una visión más completa y detallada de cómo el gasto en los diferentes programas y políticas públicas afectan a la economía y a la población en general. Esto permite a los responsables políticos tomar decisiones informadas y estratégicas sobre cómo asignar los recursos públicos de manera más efectiva y eficiente. Por ello, se argumenta que una perspectiva algorítmica del presupuesto público puede contribuir a entender de forma más detallada el proceso de distribución de recursos públicos y potencialmente mejorar el desarrollo económico y el bienestar social de un país.

A continuación, se presentan los insumos (entradas) y resultados (salidas) del proceso presupuestario público identificados en la revisión sistemática de la literatura, con la finalidad de diseñar una perspectiva algorítmica del presupuesto público.

1.3.1 Las entradas: Los gastos del presupuesto público

Expertos en desarrollo, investigadores y académicos han expresado sus ideas sobre cómo asignar los recursos públicos, y es a través de la satisfacción de las necesidades que compiten entre sí, con fundamento en el supuesto que quienes toman las decisiones sobre la asignación de fondos buscan incrementar el bienestar y disminuir la desigualdad, a pesar de las limitaciones de recursos e información (Mogues, 2015). Existe evidencia de que la asignación de recursos al gasto en el sector agrícola es benéfica para el crecimiento económico (*Id.*). La inversión de capital y la introducción de tecnología avanzada en la agricultura

puede ser una opción para reducir la desigualdad, ya que la falta de capital hace que la mano de obra centrada en este sector migre al sector no agrícola (Marsh, 2015).

Por otro lado, la tasa de ahorro indica la capacidad de un país para financiar los gastos presupuestados por el gobierno y muestra la relación entre la deuda y los ingresos (Wang y Alvi, 2011). En este sentido, Leiderman y Razin (1991) propusieron un modelo que se centra en los factores objetivos que determinan la evolución del ahorro para estimar directamente los parámetros que lo rigen. Sus hallazgos muestran un grado importante de sensibilidad del ahorro a los cambios en la tasa de rendimiento. Como resultado, el incentivo que eleva efectivamente el ahorro es la tasa de rendimiento y contribuye a mejorar el equilibrio de la riqueza externa y nacional.

Respecto a la educación, se afirma que una buena gestión presupuestaria y financiera está relacionada positivamente con las puntuaciones de eficiencia del gasto público centrado en la educación (Fonchamnyo y Sama, 2016). Dragomirescu-Gaina (2015) propuso un sistema de cuatro ecuaciones para resolver el problema de la asignación del gasto inherente a un proceso presupuestario. Tres de las ecuaciones describen la dinámica del gasto en educación por estudiante, la cuarta ecuación describe la dinámica del gasto público total en términos per cápita. Concluyó que existe una relación positiva entre la educación y el desarrollo económico (Dragomirescu-Gaina, 2015).

Wang y Alvi (2011) descubrieron que un mayor nivel educativo general del país se asocia con una mayor eficiencia del gasto público y, por tanto, con mejores condiciones económicas. Crenshaw (1992) argumentó que la educación proporciona a los individuos las calificaciones y habilidades necesarias para acceder a las ocupaciones en la economía moderna, lo que resulta en crecimiento económico. Afonso, Schuknecht y Tanzi (2010) afirmaron que una mejor educación e instituciones permiten un mejor seguimiento y control de la eficacia y eficiencia del gasto público, así como una distribución más equitativa de los ingresos para determinados gastos del sector público. Asimismo, el número medio de años de escolaridad en la sociedad tiene un fuerte efecto lineal negativo sobre la desigualdad educativa (Marsh, 2015). De manera que las naciones con mayores niveles de educación muestran un mayor bienestar y menor desigualdad (Tang, 2020).

Kopańska y Asinski (2019) estimaron los determinantes de la participación de los gobiernos locales en proyectos de colaboración público-privada de 2478 municipios y ciudades de Polonia entre 2009

y 2016. Los resultados muestran que los municipios con mayores niveles de endeudamiento tienen una mayor probabilidad de abrir licitaciones, mientras que las unidades locales más dependientes de los subsidios centrales o que reciben más subsidios están menos comprometidas a las licitaciones. Wang y Alvi (2011) concluyen que la ineficiencia del gasto público disminuye cuando se complementa con un aumento de las actividades económicas privadas, especialmente un aumento del consumo, la inversión y las exportaciones. Sin embargo, el gasto público es relativamente eficiente durante las recesiones, lo que significa que el gasto en recesión puede considerarse en términos más favorables en comparación con el gasto público en otros momentos. Para mediados de los sesenta, Kaldor (1966) estableció que las manufacturas representaban el motor del crecimiento económico y, con ello, que las actividades en las cuales se especializa un país o región son determinantes del éxito o fracaso económico (Calderón y Sánchez, 2012).

El gasto público en investigación y desarrollo contribuye a la economía basada en el conocimiento y, por tanto, al crecimiento económico. El gasto público eficiente mejora la competitividad de un país a través del aumento del capital humano, que a su vez potencia la investigación y las actividades innovadoras (Fonchamnyo y Sama, 2016). Un aumento de la inversión pública en infraestructura, incentivos a la investigación y el desarrollo, y asignaciones presupuestarias para mejorar la inversión en capital humano, tienen el potencial de aumentar la productividad y la riqueza de las naciones (Leiderman y Razin, 1991).

Por otro lado, la tasa de crecimiento de la población es esencial para establecer el gasto per cápita, ya que el gasto crece al mismo ritmo o más rápido que la población (Aladejare, 2019). El crecimiento de la población es un condicionante de la desigualdad, además de que aumenta el gasto público y obstaculiza el crecimiento económico (Marsh, 2015). Por esta razón, es necesario que las autoridades fiscales incorporen el crecimiento de la población como factor de decisión en la planificación presupuestaria. Asimismo, la pobreza es un problema endémico para la sociedad y los gobiernos, ya que incide en las decisiones de los individuos y en el consumo, además genera desigualdad, vulnerabilidad socioeconómica, incertidumbre y problemas de salud (Karim y Noy, 2020).

La salud pública influye en las condiciones sociales y económicas. Una buena gestión presupuestaria y financiera de los sectores sanitarios se relaciona positivamente con el gasto público (Fonchamnyo

y Sama, 2016). McLaren y Dutton (2020) afirmaron que existen consecuencias negativas de no invertir en la prevención y protección de emergencias sanitarias, como la pandemia causada por el COVID-19 y las enfermedades crónico degenerativas. Existen varios ejemplos históricos en los que se movilizó la infraestructura de salud pública de forma reactiva y luego se disminuyó el monto destinado a este rubro, pues se olvidaron las consecuencias negativas de potenciales pandemias. Por esta razón, las políticas sanitarias deberían centrarse en la prevención de enfermedades, la promoción de la salud y el bienestar. Sin embargo, la asignación presupuestaria en salud pública es estrecha y no siempre está alineada con los esfuerzos de las políticas para el bienestar de la población en su conjunto, así como la equidad sanitaria (McLaren y Dutton, 2020).

Respecto a la seguridad pública, Wassmer ...[et al] (2009) reunieron pruebas de que la felicidad y el bienestar personales pueden aumentar si se mejora el porcentaje del presupuesto público orientado a la seguridad pública. Russo y Verzichell (2016) argumentaron que la teoría tradicional de los partidos y la atención basada en las opiniones deben integrarse al análisis del gasto público. Estos autores probaron empíricamente que los cambios en la ideología del gobierno, las prioridades políticas y la asignación del gasto público a defensa, están relacionados con el bienestar. El gasto público se considera necesario para el funcionamiento normal del gobierno. En este sentido, Heim (2016) argumentó que es poco probable que las políticas gubernamentales para estimular la economía a través de recortes de impuestos y la disminución de los gastos de funcionamiento del gobierno, mejoren la economía o reduzcan el desempleo. De hecho, tales políticas pueden empeorar la situación, especialmente en las recesiones.

Los subsidios y transferencias, también, se consideran parte del presupuesto de gasto público y tienen efectos potenciales sobre el crecimiento económico. Para evaluar la distribución del ingreso se utiliza el índice de Gini, que considera el gasto social, las transferencias y subsidios, el gasto en pensiones, salud y educación, y algunos indicadores fiscales e institucionales (Afonso ...[et al], 2010).

Otra parte del presupuesto público se destina al desempleo, que tiene efectos en la caída de la actividad económica, la desigualdad y la pobreza, además de crear desconfianza para la inversión (Fraile y Ferrer, 2005; Jensen, 2012; Wang y Alvi, 2011). Por su parte, Fraile y Ferrer (2005) explicaron dos elementos a considerar en el apoyo

Los ingresos públicos, la tasa de inflación, el tipo de cambio y la tasa de crecimiento del producto interno bruto se ven afectados por las asignaciones presupuestarias públicas.

público a los recortes de las prestaciones por desempleo. El primero es la especificación de las características institucionales de los regímenes de bienestar: la generosidad de la protección contra el desempleo. El segundo representa una característica estructural de las políticas consideradas: la gravedad del problema del desempleo. Además, Wang y Alvi (2011) argumentaron que la tasa de desempleo tiene impacto en el ciclo económico y en el gasto público. Por su parte, Jensen (2012) sugirió aumentar los programas de protección del desempleo, los servicios familiares y las pensiones de jubilación para aumentar el bienestar.

McCausland y Theodossiou (2015) argumentaron que cuando los inversionistas reconocen que la eficiencia del gobierno está mejorando y la deuda pública está disminuyendo, se crea una mayor confianza en las perspectivas económicas del país, aumentando la inversión. Esta condición fomenta el crecimiento económico y el camino hacia la recuperación económica. Sin embargo, la disminución del gasto público no conlleva una disminución de la deuda pública como porcentaje del PIB, lo que implica que la austeridad fiscal agrava la falta de demanda y deteriora, en lugar de mejorar, las perspectivas de recuperación económica (De Haan y Sturm, 1997).

1.3.2 Las salidas: resultados del presupuesto público

De acuerdo con Aladejare (2020), los ingresos públicos, la tasa de inflación, el tipo de cambio y la tasa de crecimiento del producto interno bruto se ven afectados por las asignaciones presupuestarias públicas. La tasa de crecimiento de la población tiene un efecto sustancial en el gasto público per cápita, lo que se traduce en crecimiento económico e inflación. A su vez, Wang y Alvi (2011) argumentan que el PIB per cápita indica el grado de desarrollo del país y que un mayor nivel de ingresos conduce a una mayor eficiencia fiscal. A pesar del fundamento teórico del efecto multiplicador keynesiano, Heim (2016) encontró que la disminución del gasto público no tiene un efecto estadísticamente significativo sobre el PIB en tiempos de no recesión.

Una distribución adecuada del gasto público reduce la inflación y fomenta el desarrollo económico. De manera que, el crecimiento del gasto público es el resultado del aumento de los ingresos del gobierno, el aumento de los precios del petróleo y la depreciación de la moneda (Aladejare, 2019). Fonchamnyo y Sama (2016) afirmaron que es necesario estabilizar los precios de los bienes y servicios para promover la economía, la estabilidad y, por tanto, la eficiencia

del gasto público. Crenshaw (1992) afirmó que se espera que el crecimiento económico, con su correspondiente especialización y concentración de la riqueza en las élites, beneficie a toda la población nacional, ya que las élites proporcionan la infraestructura que fomenta la economía y benefician a muchas personas. Sin embargo, las sociedades con menor desigualdad de ingresos están mucho más desarrolladas económicamente que las que tienen mayor desigualdad, situación que lleva a evaluar la eficacia de las medidas de distribución de los ingresos.

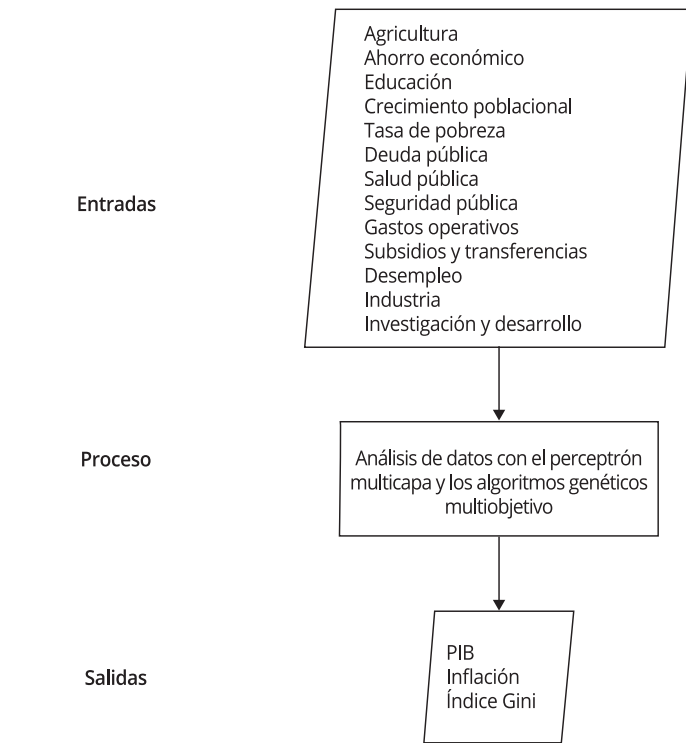
El índice de Gini mide la distribución de la renta y proporciona evidencia de que la eficiencia del gasto público está relacionada con el bienestar de los países que hacen un mejor uso del dinero público para igualar la renta (Afonso ...[et al], 2010). En este sentido, Facchini (2018) analizó la literatura sobre los determinantes del gasto público. La consecuencia analítica de este resultado es la gran inutilidad de la búsqueda de una ley general de la dinámica del gasto público. Facchini argumenta la necesidad de usar variables como el coeficiente de Gini para describir el bienestar de la sociedad y tomar decisiones sobre la distribución del gasto público. También, Marsh (2015) analizó la variación de los coeficientes de Gini de 142 países en desarrollo y obtuvo como resultado que la relación inversa de Kuznets entre desarrollo económico y desigualdad, entendida como una relación transversal, sigue siendo válida más de cincuenta años después de su formulación.

La elaboración del presupuesto público es esencial para entender el gasto público, ya que este afecta directamente al crecimiento económico. Sin embargo, no existen argumentos sólidos sobre el impacto del gasto público en los resultados económicos, debido a que existen circunstancias en las que un nivel bajo de gasto público mejora el crecimiento económico y otras en las que un nivel más alto sería deseable (Mitchell, 2005). En términos generales, las decisiones sobre el presupuesto público son fundamentales para modificar el gasto público creando un efecto multiplicador (Ono, 2011) que se traduce en crecimiento económico o inflación. Si en el gasto público se reducen las ayudas y en su lugar ofrecen puestos de trabajo, los nuevos empleados tendrán más ingresos para gastar, lo que provocará un nuevo aumento de la demanda agregada y, por lo tanto, un aumento en el PIB. Por otro lado, si todos los recursos de la economía están ocupados, no habrá impulso, produciendo una mayor inflación (Lin, 1994).

Desde un enfoque algorítmico, los elementos del presupuesto público son consistentes con el funcionamiento básico de los sistemas computacionales, al explicar cómo se procesan las entradas o insumos (gastos presupuestarios) para generar las salidas o resultados (económicos, políticos y sociales).

Como resultado de la revisión sistemática de la literatura se presenta en la Figura 2 la dinámica propuesta entre las entradas y salidas del presupuesto público utilizadas en el análisis basado en IA. Desde un enfoque algorítmico, los elementos del presupuesto público son consistentes con el funcionamiento básico de los sistemas computacionales, al explicar cómo se procesan las entradas o insumos (gastos presupuestarios) para generar las salidas o resultados (económicos, políticos y sociales).

Figura 2
Análisis algorítmico del presupuesto público



Fuente: elaboración propia.

2. Métodos

En esta sección se describen las técnicas de IA (perceptrón multicapa y algoritmos genéticos multiobjetivo) utilizadas para analizar los datos abiertos del Banco Mundial (correspondientes a México) y

los datos relacionados con los niveles de pobreza del CONEVAL. La primera parte describe la técnica de redes neuronales artificiales, en particular el perceptrón multicapa. La segunda parte muestra el enfoque del algoritmo genético basado en una optimización multiobjetivo. La tercera parte describe el proceso algorítmico de análisis de datos basado en estas dos técnicas de IA.

2.1 El perceptrón multicapa

Las redes neuronales artificiales (RNA) simulan el comportamiento del cerebro humano en un modelo simple y abstracto. Las RNA pueden aprender a realizar determinadas tareas mediante el entrenamiento. Por ello, no es necesario un modelado a priori y generan inherentemente sus resultados con la interacción simultánea de las variables de entrada sobre las de salida (Jordan, 2019). La arquitectura del perceptrón multicapa permite el diseño de RNA que se utilizan principalmente para la regresión, la clasificación, la detección de patrones, y los sistemas expertos (Anthony y Bartlett, 2009; Russell y Norvig, 2002).

Las RNA están formadas por elementos de procesamiento llamados neuronas, que trabajan conjuntamente para resolver problemas específicos y se basan en el modelo matemático-conexionista de McCulloch y Pitts (1943). Cada neurona recibe un conjunto de entradas y devuelve una salida (Hopfield, 1988; McCulloch y Pitts, 1943). Las conexiones se establecen con diferentes niveles de intensidad (sinapsis), donde cada entrada x_i de una neurona es afectada por un peso w_i que se ajusta en el aprendizaje. La activación de una neurona (a) se calcula como la suma ponderada de las entradas (ver Ecuación 1).

$$a = \sum_{i=1}^D w_i x_i + w_0 \quad (1)$$

Donde w_0 es un umbral o sesgo utilizado para compensar la diferencia entre el valor medio de las entradas. La salida de la neurona (y) se calcula a partir del valor de a mediante la función de activación o transferencia¹ $g(a)$ (ver Ecuación 2).

$$y = g(a) \quad (2)$$

(1) Existen diferentes funciones de activación. Entre las más utilizadas están la identidad, escalera, sigmoidea, tangente hiperbólica y gaussiana.

Para medir el error de predicción (E) entre la diferencia de la salida calculada (y^n) y la salida deseada (t^n). Para cada ejemplo de aprendizaje n se determina el error cuadrático medio (ver Ecuación 3).

$$E = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (y^n - t^n)^2 \quad (3)$$

El número de neuronas de una RNA y su interconexión se denomina topología o arquitectura. Es posible implementar funciones complejas, con el grado de precisión deseado, al añadir más capas intermedias entre la capa de entrada y la capa de salida de la RNA. Las capas intermedias realizan una proyección en la que los patrones de entrada son linealmente separables. De este modo, la unidad de salida puede realizar una mejor clasificación o predicción de los datos (Minsky y Papert, 1969). El perceptrón multicapa define, a través de sus conexiones y neuronas, una función ($Y = F(\mathbf{X}, \mathbf{W})$) donde los y_j dependen de los x_i simultáneamente (ver Ecuación 4).

$$\mathbf{Y} = F(\mathbf{X}, \mathbf{W}) \quad (4)$$

Donde:

\mathbf{Y} salidas de la RNA (y_j)

\mathbf{X} entradas de la RNA (x_i)

\mathbf{W} pesos calculados

F relación calculada entre las entradas y las salidas

2.2 Algoritmos genéticos multiobjetivo

Los algoritmos genéticos son algoritmos de búsqueda metaheurística, basados en la evolución de las poblaciones. La población inicial se crea de forma aleatoria y se inicializan los parámetros de entrada dentro del rango especificado. Los algoritmos genéticos se aproximan a la mejor solución inspirados en el comportamiento adaptativo y evolutivo, además de que tienen el potencial de proporcionar soluciones factibles a problemas complejos (Swarnkar y Swarnkar, 2020). El uso principal de los algoritmos genéticos (AG) es la resolución de problemas de optimización (Floreano y Mattiussi, 2008; Mitchell, 1998), mediante una función de aptitud o adaptación (Mitchell, 1998; Yu y Gen, 2010). El paquete genético total se llama genotipo. La interacción del genotipo con su entorno se denomina fenotipo y da lugar a la decodificación del cromosoma para obtener una solución alternativa (Michalski ...[et al], 2013; Russell y Norvig, 2002) (ver Ecuación 5).

$$X_i^t = (c_i^t, x_i^t, f_i^t) \quad (5)$$

Donde x_i^t , es la decodificación (fenotipo) del cromosoma c_i^t y la f_i^t es la adecuación o aptitud de la solución al entorno (el diseño de una función de aptitud suele ser un proceso complicado). El algoritmo es un proceso iterativo, donde se realiza una selección de los mejores individuos de cada generación. El proceso iterativo finaliza cuando se alcanza una condición de terminación, dependiendo del número de generaciones o del nivel de error entre las nuevas generaciones y las anteriores (Floreano y Mattiussi, 2008; McCall, 2005). Muchos problemas de optimización son de naturaleza multiobjetivo y contienen funciones que deben ser satisfechas simultáneamente con múltiples soluciones óptimas y con restricciones de la forma:

$$\begin{aligned} & \text{Optimizar } f_i(\vec{x}), & i = 1, \dots, n \\ & \text{sujeto a: } \text{límite inferior} \leq g_j(\vec{x}) \leq \text{límite inferior} & j = 1, \dots, m \end{aligned}$$

El algoritmo NSGA-II es un algoritmo genético de ordenación no dominante con elitismo y un mecanismo de diversidad explícito para encontrar soluciones a problemas de optimización de múltiples ecuaciones. A partir de una población P_t , se crea una nueva población de descendientes Q_t , además se aplica la selección de torneo binario por frentes y nichos, y los operadores evolutivos de cruce y mutación. Estas dos poblaciones se mezclan para formar una nueva población R_t de tamaño $2N$ (N = tamaño de la población P_t). La nueva población P_{t+1} se obtiene a partir de la población R_t , de la que sobreviven los mejores N individuos después de aplicar la selección de frentes y nichos (Dhanalakshmi ...[et al], 2011; Zhou ...[et al], 2020). La selección de torneos binarios basada en frentes y nichos compara dos soluciones y devuelve la mejor según el operador de no dominancia y nichos. Del mismo modo, la selección por frentes y nichos ordena a los individuos según las condiciones establecidas por el operador de no dominancia y nicho, para obtener la mejor solución al problema de optimización (Wang ...[et al], 2019).

2.3 Proceso de análisis de datos mediante técnicas de IA

En esta sección se describe el proceso para entender el potencial de combinar el perceptrón multicapa y los algoritmos genéticos multiobjetivo para la asignación del gasto público mexicano. En primer

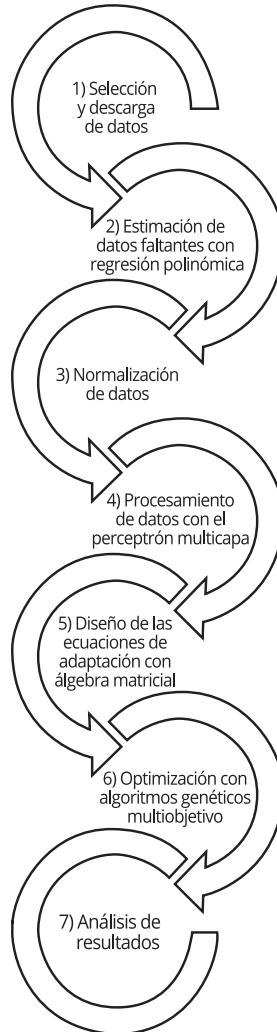
El problema de optimización del presupuesto público es complejo, con muchas opciones posibles. Sin embargo, la IA tiene el potencial de apoyar en la toma de decisiones en este tipo de casos.

lugar, las RNA son la base de las técnicas de aprendizaje automático y se utilizan los pesos de la RNA (perceptrón multicapa) para generar las ecuaciones de optimización multiobjetivo de los algoritmos genéticos. El problema de optimización del presupuesto público es complejo, con muchas opciones posibles. Sin embargo, la IA tiene el potencial de apoyar en la toma de decisiones en este tipo de casos.

El análisis de los datos relacionados con las entradas y salidas del presupuesto público de México consistió en siete pasos. En primer lugar, como resultado del análisis de la literatura relacionada con los gastos del presupuesto público y los indicadores de crecimiento económico y bienestar social, se descargaron los datos del gasto del presupuesto público y de las condiciones sociales y económicas en México de los datos abiertos del Banco Mundial y de los niveles de pobreza por ingreso publicados por el CONEVAL, en el periodo comprendido entre 1990 y 2020. Los datos incluyeron variables relacionadas con los gastos operativos del gobierno, la inversión en investigación y desarrollo, la deuda pública, la inversión en educación, la agricultura, el desempleo, el ahorro público, el crecimiento de la población, la pobreza, el comercio, la sanidad pública, la inversión militar, la industria, el PIB, la inflación y el índice de Gini. Estos datos se utilizaron en el diseño del perceptrón multicapa para determinar el efecto de los diferentes gastos del presupuesto público en los tres resultados sociales y económicos seleccionados (crecimiento del PIB, inflación e índice Gini). En segundo lugar, se estimaron los datos faltantes por medio de regresiones polinómicas. Se analizaron los resultados de las regresiones desde el grado 1 hasta grado 10. De acuerdo con el nivel de significancia (valor de p) y el error cuadrático medio, se encontró que las regresiones de grados 2 y 4 fueron las que se ajustaron mejor al comportamiento de los datos. Con estas regresiones se estimaron los datos faltantes. En tercer lugar, para diseñar el modelo basado en IA, se normalizaron los datos. En cuarto lugar, los datos normalizados se utilizaron para probar diferentes arquitecturas de perceptrón multicapa. Se probaron diferentes perceptrones multicapa para encontrar el modelo con el menor error cuadrático medio. En quinto lugar, se diseñaron las funciones de adaptación para el algoritmo genético multiobjetivo, con la aplicación de álgebra matricial a los pesos resultantes del perceptrón multicapa (de manera que se aprovechó el aprendizaje del perceptrón multicapa y la optimización metaheurística de los algoritmos genéticos multiobjetivo). En sexto lugar, se realizaron diferentes experimentos con el algoritmo genético multiobjetivo para obtener el mejor modelo de optimización

del presupuesto público (el código en lenguaje R puede encontrarse en el siguiente repositorio: https://github.com/davacr/ANN_RNA_PublicBudget). Finalmente, se realizó el análisis de los resultados y su interpretación (Figura 3).

Figura 3
Proceso de análisis de datos con el perceptrón multicapa y los algoritmos genéticos multiobjetivo



Fuente: elaboración propia.

3. Resultados

3.1 Procesamiento de datos con el perceptrón multicapa

Se probaron doce arquitecturas de perceptrón multicapa con los datos normalizados, basándose en las posibles opciones al combinar diferentes funciones de activación (ver Tabla 3). La arquitectura seleccionada fue la número 10, debido al nivel de error de la suma de errores cuadráticos en los procesos de entrenamiento y prueba. También se seleccionó la décima arquitectura debido a las funciones de activación no lineales en las capas ocultas: sigmoidea.

Tabla 3
Arquitecturas de perceptrón multicapa probadas

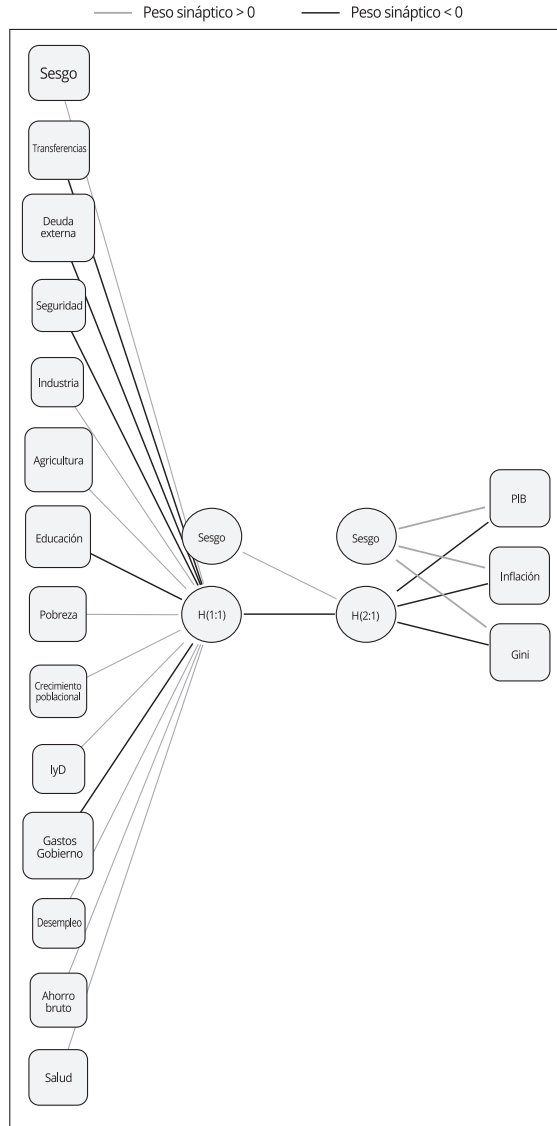
| Arquitectura | Capas ocultas | Función de activación (capas ocultas) | Función de activación (capa de salida) | Suma de errores cuadráticos (entrenamiento) | Suma de errores cuadráticos (prueba) |
|--------------|---------------|---------------------------------------|--|---|--------------------------------------|
| 1 | 1 | tangente hiperbólica | Identidad | 0.930 | 0.423 |
| 2 | 1 | tangente hiperbólica | tangente hiperbólica | 3.849 | 1.866 |
| 3 | 1 | tangente hiperbólica | Sigmoidea | 0.772 | 0.327 |
| 4 | 1 | sigmoidea | Identidad | 0.884 | 3.053 |
| 5 | 1 | sigmoidea | tangente hiperbólica | 3.869 | 0.417 |
| 6 | 1 | sigmoidea | Sigmoidea | 0.826 | 0.321 |
| 7 | 2 | tangente hiperbólica | Identidad | 0.907 | 0.754 |
| 8 | 2 | tangente hiperbólica | tangente hiperbólica | 2.231 | 3.517 |
| 9 | 2 | tangente hiperbólica | Sigmoidea | 1.048 | 0.135 |
| 10 | 2 | sigmoidea | Identidad | 0.648 | 0.564 |
| 11 | 2 | sigmoidea | tangente hiperbólica | 5.804 | 1.055 |
| 12 | 2 | sigmoidea | sigmoidea | 0.781 | 1.532 |

Fuente: elaboración propia.

Para establecer la proporción más factible de los elementos del presupuesto público, el perceptrón multicapa considera el efecto simultáneo de todos los gastos del presupuesto público sobre el crecimiento del PIB, la inflación y el índice de Gini. La mejor arquitectura

para la generación del modelo se basa en la función sigmoidea y dos capas ocultas (Figura 4). Los pesos calculados entre cada una de las neuronas de cada capa se muestran en el Apéndice 1.

Figura 4
Perceptrón multicapa para diseñar funciones de aptitud



Función de activación en las capas ocultas: Sigmoidea.

3.2 Diseño de las ecuaciones de adaptación con álgebra matricial

Para diseñar las ecuaciones de aptitud ($Y = F(X, W)$), se calculó la activación de cada entrada (X) sobre las salidas (Y) del perceptrón multicapa, basado en álgebra matricial. Se calculó el producto matricial entre los pesos de la primera capa oculta ($\omega_{nh}^{oculta 1}$) con la segunda ($\omega_{hi}^{oculta 2}$) (ver Ecuación 6):

$$\omega_{nh}^{oculta 1} \times \omega_{hi}^{oculta 2} \quad (6)$$

A continuación, se calculó el producto matricial entre los valores resultantes con los pesos de la capa de salida (ω_{im}^{salida}) (ver Ecuación 7):

$$(\omega_{nh}^{oculta 1} \times \omega_{hi}^{oculta 2}) \times \omega_{im}^{salida} \quad (7)$$

Finalmente, se obtuvo el efecto simultáneo o la ponderación matemática de n variables de entrada sobre m variables de salida (Tabla 4) (ver Ecuación 8):

$$Y = F(X, W) = (\omega_{nh}^{oculta 1} \times \omega_{hi}^{oculta 2}) \times \omega_{im}^{salida} \quad (8)$$

Donde:

$\omega_{nh}^{oculta 1}$ es la matriz de pesos de la primera capa oculta, con n renglones y h columnas

$\omega_{hi}^{oculta 2}$ es la matriz de pesos de la segunda capa oculta, con h renglones e i columnas

ω_{im}^{salida} es la matriz de pesos de la capa de salida, con i renglones y m columnas

Tabla 4
Efecto de las variables de entrada en las variables de salida

| Gastos del presupuesto público Entradas ($n = 13$) | Resultados económicos y sociales Salidas ($m = 3$) | | |
|---|---|------------|----------------|
| | PIB | Inflación | Índice de Gini |
| Transferencias (Tra) | -0.7495545 | -2.2215682 | -2.7262541 |
| Deuda.externa (Deu) | -1.1888691 | -3.5236316 | -4.3241143 |
| Seguridad (Seg) | -0.3386289 | -1.0036458 | -1.2316496 |
| Industria (Ind) | 0.13988607 | 0.41460153 | 0.50878885 |

Tabla 4 (continuación)
Efecto de las variables de entrada en las variables de salida

| Gastos del presupuesto público Entradas (<i>n</i> = 13) | Resultados económicos y sociales Salidas (<i>m</i> = 3) | | |
|---|---|-------------|----------------|
| | PIB | Inflación | Índice de Gini |
| Agricultura (Agr) | 1.00524756 | 2.97940449 | 3.65625221 |
| Educación (Edu) | -0.83332670 | -2.46985660 | -3.03094750 |
| Pobreza (Pob) | 0.49999643 | 1.48191517 | 1.81857000 |
| Crecimiento.poblacional (CreP) | 0.34464866 | 1.02148745 | 1.25354437 |
| Investigación y desarrollo (IyD) | 0.20481262 | 0.60703419 | 0.74493749 |
| Gastos.Gobierno (GasG) | -1.08204720 | -3.20702730 | -3.93558540 |
| Desempleo (Des) | 0.19181000 | 0.56849636 | 0.69764481 |
| Ahorro.bruto (Aho) | 0.49452596 | 1.46570153 | 1.79867301 |
| Salud (Sal) | 0.56450991 | 1.67312357 | 2.05321626 |

Fuente: elaboración propia.

Los valores calculados del efecto de las variables de entrada sobre las variables de salida representan los coeficientes de las ecuaciones de adaptación para el algoritmo genético multiobjetivo. Las restricciones para la optimización dependen de las variables de salida (PIB, Inflación e Índice de Gini). De acuerdo con el problema de optimización, las variables de salida se restringieron al rango entre 0 a 1000000, con la finalidad de dar variedad a las posibles soluciones. A continuación, se presentan las ecuaciones diseñadas con los pesos del perceptrón multicapa. El resultado es un sistema de ecuaciones con 13 variables independientes y 3 variables dependientes. En consecuencia, el problema de optimización tiene una infinidad de posibles soluciones que pueden ser evaluadas de forma heurística con el algoritmo genético multiobjetivo:

$$\begin{aligned}
 \text{Max PIB} = & -0.749554482323975 \text{ Tra} - 1.18886912191656 \text{ Deu} \\
 & - 0.338628912232122 \text{ Seg} + 0.139886067690921 \text{ Ind} \\
 & + 1.00524755557435 \text{ Agr} - 0.833326688655669 \text{ Edu} \\
 & + 0.49999642711254 \text{ Pob} + 0.344648657585942 \text{ CreP} \\
 & + 0.204812617473497 \text{ IyD} - 1.08204722687719 \text{ GasG} \\
 & + 0.191809999611641 \text{ Des} + 0.494525962892054 \text{ Aho} \\
 & + 0.56450991426266 \text{ Sal}
 \end{aligned}$$

Los resultados de las simulaciones con algoritmos genéticos multiobjetivo sirven como indicadores para entender la importancia de los gastos del presupuesto público en el potencial fomento del crecimiento económico (PIB), reducir la inflación y mejorar las desigualdades de ingresos (índice de Gini) de forma simultánea.

Min Inflación

$$= -2.22156819047987 Tra - 3.52363155204507 Dea - 1.00364581565737 * Seg + 1.00364581565737 Ind + 2.97940449385022 Agr - 2.46985657140688 Edu + 1.481915169639 Pob + 1.02148744706403 CreP + 0.60703418726456 * IyD - 3.2070273162456 GasG + 0.568496358572903 Des + 1.46570152595334 Aho + 1.67312356647931 Sal$$

$$Min GINI = -2.72625406572344 Tra - 4.32411432880628 Dea - 1.23164956052561 Seg + 0.508788846940152 Ind + 3.6562522139099 Agr - 3.03094748493734 Edu + 1.81856999645502 Pob + 1.25354437355453 CreP + 0.744937485221039 IyD - 3.93558536589963 GasG + 0.697644805840313 Des + 1.79867301007952 Aho + 2.05321625738017 Sal$$

sujepto a:

$$0 \leq Tra, Deu, Seg, Ind, Agr, Edu, Pob, CreP, IyD, GasG, Des, Aho, Sal \leq 1000000$$

3.3 Optimización con algoritmos genéticos multiobjetivo

Los resultados de las simulaciones con algoritmos genéticos multiobjetivo sirven como indicadores para entender la importancia de los gastos del presupuesto público en el potencial fomento del crecimiento económico (PIB), reducir la inflación y mejorar las desigualdades de ingresos (índice de Gini) de forma simultánea. Se realizaron diferentes simulaciones para optimizar las categorías de gasto del presupuesto público (ver resultados de las simulaciones en el Anexo). De acuerdo con los resultados de los experimentos, el modelo con los mejores valores de adecuación es el número 8, ya que se obtuvieron los mejores valores de adecuación para maximizar el PIB (máximo de 3445437.203), minimizar la inflación (mínimo de 12425729.445) y minimizar el GINI (mínimo de -15248550.807).

Los resultados muestran homogeneidad en los primeros diez gastos del presupuesto público mexicano. El crecimiento económico conlleva a un aumento del circulante. Sin embargo, se debe tener presente que el alza generalizada de los precios produce un mayor nivel inflacionario que, para el contexto mexicano, resulta en el incremento de las desigualdades. A pesar de esto, la perspectiva algorítmica identificó los gastos del presupuesto público que tienen el potencial de mejorar el PIB, así como disminuir la inflación y la desigualdad (Tabla 5).

Tabla 5

Importancia de las categorías de gasto del presupuesto público en el PIB, la inflación y el índice de Gini, resultantes de la octava simulación

| Importancia | PIB | Inflación | Índice de Gini |
|-------------|-------------|-------------|----------------|
| 1 | Pobreza | Pobreza | Pobreza |
| 2 | Agricultura | Agricultura | Agricultura |
| 3 | Industria | Industria | Industria |
| 4 | Salud | Salud | Salud |

Tabla 5 (continuación)
Importancia de las categorías de gasto del presupuesto público en el PIB, la inflación y el índice de Gini, resultantes de la octava simulación

| Importancia | PIB | Inflación | Índice de Gini |
|-------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| 5 | Investigación y desarrollo | Investigación y desarrollo | Investigación y desarrollo |
| 6 | Ahorro bruto | Ahorro bruto | Ahorro bruto |
| 7 | Crecimiento poblacional | Crecimiento poblacional | Crecimiento poblacional |
| 8 | Desempleo | Desempleo | Desempleo |
| 9 | Deuda externa | Deuda externa | Deuda externa |
| 10 | Educación | Educación | Educación |
| 11 | Transferencias | Gastos de gobierno | Gastos de gobierno |
| 12 | Gastos de gobierno | Seguridad | Seguridad |
| 13 | Seguridad | Transferencias | Transferencias |

Fuente: elaboración propia.

El modelo, basado en el perceptrón multicapa y algoritmos genéticos multiobjetivo, identificó indicadores que permiten comprender la importancia de los gastos del presupuesto público mexicano para potenciar el desarrollo económico, así como reducir la inflación y la desigualdad.

Conclusiones, limitaciones y trabajo futuro

En este documento se propone un enfoque multidisciplinario para el análisis del presupuesto público en México. Se exploró cómo la IA puede producir escenarios, por medio de indicadores, que ayuden al proceso de toma de decisiones para la asignación del gasto público. Aunque esta investigación no puede ser realista en cuanto a la inclusión de todos los aspectos importantes del proceso presupuestario, el análisis de la asignación de los gastos del presupuesto público por medio de técnicas de IA es un tema nuevo que tiene el potencial de apoyar la toma de decisiones del gobierno. Particularmente, en el contexto de este estudio la asignación de los gastos del presupuesto público podría ser más eficiente, transparente y racional. De hecho, asumiendo que la IA simula cuestiones cognitivas del ser humano, los hallazgos muestran que los resultados del análisis de datos con IA tienen relación con algunas políticas promovidas por organismos internacionales como la ONU o la OCDE. De tal forma, es posible que este tipo de análisis tenga el potencial de apoyar a los tomadores de decisiones en políticas que brinden bienestar a la sociedad.

El modelo, basado en el perceptrón multicapa y algoritmos genéticos multiobjetivo, identificó indicadores que permiten comprender la importancia de los gastos del presupuesto público mexicano para potenciar el desarrollo económico, así como reducir la inflación y la desigualdad. Del análisis con técnicas de IA, se encontró que los aspectos más importantes y homogéneos que pueden ser útiles para generar un

presupuesto público eficiente deben enfocarse en combatir la pobreza, invertir en el sector agrícola, incentivar a la industria, generar inversión en temas relacionados con la salud pública, invertir en investigación y desarrollo, fomentar el ahorro del sector público, promover políticas para el control del crecimiento poblacional, combatir el desempleo, reducir la deuda externa, e incentivar la educación de la población.

Estos resultados son consistentes con investigaciones anteriores en las que se usaron métodos estadísticos tradicionales (Fonchamnyo y Sama, 2016; Karim y Noy, 2020; Kopańska y Asinski, 2019; Leiderman y Razin, 1991; Mogues, 2015) y con las recomendaciones realizadas por el Banco de México y organismos internacionales, como el Foro Económico Mundial y el Banco Mundial, así como con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (Banco de México, 2018; FAO, 2019).

Respecto a los gastos del presupuesto público, combatir la pobreza e incentivar la salud pública son dos de las medidas fundamentales para lograr el bienestar a nivel mundial y no únicamente para el contexto mexicano. La pandemia por COVID-19 agravó los niveles de pobreza y evidenció las carencias en términos de salud pública. Sin embargo, las políticas para aminorar la pobreza y para el fomento de la salud pública puede tener beneficios para el desarrollo económico y la inversión (Karim y Noy, 2020; McLaren y Dutton, 2020). La salud pública es un problema de desigualdad que ha tenido consecuencias económicas, los países de economías emergentes suelen tener peores resultados en materia de salud y los sectores en alta pobreza tienen mayores dificultades relacionadas con este tema.

De acuerdo con los hallazgos basados en el análisis algorítmico, la desigualdad económica (medida por el índice de Gini) podría abordarse principalmente con la implementación de políticas centradas en la inversión agrícola y privada, así como en el fomento de la investigación y desarrollo. El desarrollo agrícola es un factor que puede disminuir la pobreza extrema y las desigualdades, y asegurar la alimentación de la población, además de representar un elemento para el crecimiento económico (Marsh, 2015; Mogues, 2015). Las medidas para incentivar al sector agrícola son catalizadores para el crecimiento económico y para la reducción de las desigualdades. La agricultura se considera un tema relevante en la agenda de los gobiernos (Marsh, 2015; Mogues, 2015). Sin la tecnología necesaria ni la investigación y desarrollo en el sector agrícola no se fomenta el desarrollo económico. El modelo algorítmico confirmó la importancia de impulsar la inversión en el sector agrícola para fomentar el crecimiento de la economía y disminuir las desigualdades.

Los beneficios de la IA, como la coherencia, la uniformidad y la formalización de la decisión, podrían ayudar a justificar y mejorar el proceso de presupuesto con altos niveles de transparencia y eficiencia. Este enfoque algorítmico puede ser útil para la planeación de otros proyectos, con otros datos y en otros contextos, por medio de la generación de indicadores que ayuden a la toma de decisiones basada en datos.

La reducción de la desigualdad podría abordarse generando políticas de empleo que promuevan un mercado laboral eficiente, productivo y competente que se inserte en el sector agrícola, la industria y la investigación. Además, las desigualdades pueden reducirse con la implementación de servicios públicos gratuitos y de calidad (Solt, 2009). La inversión en investigación y desarrollo es necesaria en la era de la cuarta revolución industrial. La automatización y capacitación hacia la implementación de actividades menos repetitivas y mejor remuneradas, puede ser un camino ante la amenaza de la sustitución por la IA (Crenshaw, 1992). La inversión en investigación y desarrollo fomenta un uso eficiente del gasto público, lo que repercute en el aumento de la productividad y la riqueza de las naciones y, por tanto, en crecimiento económico. Además, disminuye la desigualdad, ya que los costos de producción se reducen al lograr que los bienes sean más accesibles para la población.

Es así como los incentivos dirigidos principalmente hacia el combate contra la pobreza, la inversión en los sectores agrícola y de salud, así como en la industria y el desarrollo tecnológico, representan catalizadores de las variables económicas de interés como el PIB, la inflación, la desigualdad y el desempleo. Respecto al enfoque algorítmico, los beneficios de la IA, como la coherencia, la uniformidad y la formalización de la decisión, podrían ayudar a justificar y mejorar el proceso de presupuesto con altos niveles de transparencia y eficiencia. Aunque el enfoque de análisis algorítmico, basado en el perceptrón multicapa y los algoritmos genéticos multiobjetivo, encontró la solución factible de asignación del gasto público para mejorar la economía, así como disminuir la inflación y las desigualdades de ingreso, la propuesta realizada en este documento es principalmente para la asistencia en la fase de planeación del presupuesto público. Este enfoque algorítmico puede ser útil para la planeación de otros proyectos, con otros datos y en otros contextos, por medio de la generación de indicadores que ayuden a la toma de decisiones basada en datos.

Los resultados ofrecen un escenario preliminar que proporciona indicadores que pueden ayudar en la toma de decisiones relacionada con las condiciones económicas y la disminución de las desigualdades. Sin embargo, una de las principales limitaciones de la perspectiva algorítmica se fundamenta en que no se puede agregar toda la complejidad de la toma de decisiones, pues funciona con base en modelos matemáticos y faltan varios factores por incluir.

Asimismo, es necesario el conocimiento de los expertos para tomar la decisión final.

Los autores de este estudio son conscientes de que, aunque se han planteado las posibles ventajas del uso de técnicas de IA para la toma de decisiones en el proceso presupuestario, todavía existe desconfianza de los actores principales y tomadores de decisiones al momento de utilizar este tipo de algoritmos. La combinación de este tipo de técnicas tiene el potencial de apoyar de forma automática no solo la elaboración de presupuestos inteligentes, sino también diferentes áreas de gobierno de forma estratégica. En este sentido, el uso de técnicas de IA tiene el potencial de descubrir enfoques innovadores y producir nuevas ideas para los responsables de la toma de decisiones en el gobierno. Esto podría hacerse mediante el asesoramiento basado en diferentes escenarios o modelos resultantes de simulaciones usando IA. Los autores consideran que los organismos gubernamentales podrían explorar las técnicas de IA. A pesar de esto, debe haber conciencia de que no siempre debe considerarse una toma de decisiones automática, sino que muchas veces la IA es una herramienta de apoyo para analizar y comprender los datos utilizados en programas y políticas gubernamentales específicas. No debería considerarse al ser humano fuera del bucle (*human-out-of-the-loop*), pues a pesar del gran avance de la IA generativa, la decisión final deberá ser humana.

En términos generales, algunas de las ventajas que aportan las técnicas de IA están relacionadas con su capacidad para analizar cualquier dato, independientemente de su distribución, tamaño o formato, así como una toma de decisiones basada en la analítica de datos. Otra ventaja es que la asignación puede ser dinámica, es decir, la IA ayuda a generar una nueva asignación de recursos ante contingencias no consideradas inicialmente en el presupuesto, como la COVID-19. Es decir, sirve como herramienta de apoyo para la toma de decisiones ante imprevistos.

Sin embargo, algunas limitaciones de la toma de decisiones basada en la IA están relacionadas con la capacidad computacional necesaria para implementar algunas de estas técnicas, la falta de explicabilidad de los algoritmos y el contar con el capital humano que conozca o incluso sea experto en determinadas técnicas de IA. Además, como se mencionó anteriormente, una de las limitaciones de esta investigación es que todavía no es posible incluir en un algoritmo toda la complejidad del proceso presupuestario en términos de

aspectos económicos, sociales, políticos y humanos. Estudios futuros podrían probar este tipo de técnicas en otros contextos, adaptadas a las necesidades específicas de diferentes proyectos y políticas, e inclusive utilizando otro tipo de algoritmos.

Bibliografía

- Acevedo, M. (2020), "Ajuste fiscal para financiar gastos derivados de la pandemia de Coronavirus (COVID-19)", Santiago, Ministerio de Hacienda. Dirección de Presupuestos. Comisión Mixta de Presupuestos.
- Afonso, A.; Schuknecht, L.; y Tanzi, V. (2010), "Income Distribution Determinants and Public Spending Efficiency", en *The Journal of Economic Inequality*, Vol. 8 N° 3, pp. 367-389.
- Aladejare, S. A. (2019), "Testing the Robustness of Public Spending Determinants on Public Spending Decisions in Nigeria", en *International Economic Journal*, Vol. 33 N° 1, pp. 65-87.
- _____ (2020), "Are Public Spending Determinants Significant in Per Capita Budget Spending Decisions in Nigeria?", en *International Journal of Finance and Economics*, Vol. 27 N° 1, pp. 192-206.
- Alizamir, M.; Kim, S.; Kisi, O.; y Zounemat-Kermani, M. (2020), "A Comparative Study of Several Machine Learning Based Non-Linear Regression Methods in Estimating Solar Radiation: Case Studies of the USA and Turkey Regions", en *Energy*, Vol. 197, Article 117239.
- Anthony, M. y Bartlett, P. L. (2009), *Neural Network Learning: Theoretical Foundations*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Banco de México (2018), "Crecimiento económico y productividad", en *Informe trimestral: julio-septiembre 2018*, México, Banco de México, pp. 19-23.
- Baumol, W. J. (1967), "Macroeconomics of Unbalanced Growth: the Anatomy of Urban Crisis", en *The American Economic Review*, Vol. 57 N° 3, pp. 415-426.
- Boden, M. A. (1998), "Creativity and Artificial Intelligence", en *Artificial Intelligence*, Vol. 103 Nos. 1-2, pp. 347-356.
- Calderón, C. y Sánchez, I. (2012), "Crecimiento económico y política industrial en México", en *Problemas del Desarrollo*, Vol. 43 N° 170, pp. 125-154.
- Carrillo, V.; Jiménez, A.; Medina, V.; y González, M. J. (2021), "Implementación del Presupuesto Público Basado en Desempeño: una revisión sistemática de la literatura empírica", en *Revista del CLAD Reforma y Democracia*, N° 79, pp. 77-116.

- Castellano, C. Q. (2013), "La toma de decisiones organizacionales en un proceso de reforma administrativa. El gobierno digital en un municipio de Jalisco, México", en *Estado, Gobierno y Gestión Pública*, N° 22, pp. 87-128.
- Chan, S.-G. y Karim, M. A. Z. (2012), "Public Spending Efficiency and Political and Economic Factors: Evidence from Selected East Asian Countries", en *Economic Annals*, Vol. 57 N° 193, pp. 7-23.
- Congreso de la Unión de México (2007), "Manual de 'presupuesto de egresos de la federación'", México, Cámara de Diputados. Centro de Estudios de las Finanzas Públicas (Serie de Cuadernos de Finanzas Públicas, 2007), <https://www.cefp.gob.mx/intr/edocumentos/pdf/cefp/cefp0582007.pdf>.
- Corvalán, J. G. (2018), "Inteligencia artificial: retos, desafíos y oportunidades - Prometea: la primera inteligencia artificial de Latinoamérica al servicio de la justicia", en *Revista de Investigações Constitucionais*, Vol. 5 N° 1, pp. 295-316.
- Crenshaw, E. (1992), "Cross-National Determinants of Income Inequality: a Replication and Extension Using Ecological-Evolutionary Theory", en *Social Forces*, Vol. 71 N° 2, pp. 339-363.
- De Haan, J. y Sturm, J.-E. (1997), "Political and Economic Determinants of OECD Budget Deficits and Government Expenditures: a Reinvestigation", en *European Journal of Political Economy*, Vol. 13 N° 4, pp. 739-750.
- Dhanalakshmi, S.; Kannan, S.; Mahadevan, K.; y Baskar, S. (2011), "Application of Modified NSGA-II Algorithm to Combined Economic and Emission Dispatch Problem", en *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, Vol. 33 N° 4, pp. 992-1002.
- Dhar, V. (2013), "Data Science and Prediction", en *Communications of the ACM*, Vol. 56 N° 12, pp. 64-73.
- Dobrescu, E. (2015), "BARS Curve in Romanian Economy", en *Amfiteatru Economic*, Vol. 17 N° 39, pp. 693-705.
- Dragomirescu-Gaina, C. (2015), "An Empirical Inquiry into the Determinants of Public Education Spending in Europe", en *IZA Journal of European Labor Studies*, Vol. 4 N° 1, pp. 1-24.
- Dwivedi, Y. K. ...[et al] (2019), "Artificial Intelligence (AI): Multidisciplinary Perspectives on Emerging Challenges, Opportunities, and Agenda for Research, Practice and Policy", en *International Journal of Information Management*, Vol. 57, Article 101994.
- Engin, Z. y Treleven, P. (2019), "Algorithmic Government: Automating Public Services and Supporting Civil Servants in Using Data Science Technologies", en *The Computer Journal*, Vol. 62 N° 3, pp. 448-460, <https://doi.org/10.1093/comjnl/bxy082>.

- Facchini, F. (2018), "What Are the Determinants of Public Spending? An Overview of the Literature", en *Atlantic Economic Journal*, Vol. 46 N° 4, pp. 419-439.
- FAO (2019), FAO Investment Centre: Annual Review 2019, Rome, FAO, <https://www.fao.org/documents/card/en/c/cb0464en>.
- Fernández-Cortez, V.; Valle-Cruz, D.; y Gil-García, J. R. (2020), "Can Artificial Intelligence Help Optimize the Public Budgeting Process? Lessons about Smartness and Public Value from the Mexican Federal Government", paper presented at the 2020 Seventh International Conference on eDemocracy and eGovernment (ICEDEG), Buenos Aires, Argentina, April 22-24, pp. 312-315.
- Filgueiras, F. (2021), "Inteligencia Artificial en la Administración pública: ambigüedad y elección de sistemas de IA y desafíos de gobernanza digital", en *Revista del CLAD Reforma y Democracia*, N° 79, pp. 5-38.
- Floreano, D. y Mattiussi, C. (2008), *Bio-Inspired Artificial Intelligence: Theories, Methods, and Technologies*, Cambridge, MIT Press.
- Flores, M. D.; Acolt, R. G.; y Tagle, M. Á. O. (2011), "El proceso presupuestario en México", en *Revista Universo Contábil*, Vol. 7 N° 1, pp. 144-158.
- Fonchamnyo, D. C. y Sama, M. C. (2016), "Determinants of Public Spending Efficiency in Education and Health: Evidence from Selected CEMAC Countries", en *Journal of Economics and Finance*, Vol. 40 N° 1, pp. 199-210.
- Fraile, M. y Ferrer, M. (2005), "Explaining the Determinants of Public Support for Cuts in Unemployment Benefits Spending across OECD Countries", en *International Sociology*, Vol. 20 N° 4, pp. 459-481.
- Gil-García, J. R. y Luna-Reyes, L. F. (2003), "Towards a Definition of Electronic Government: a Comparative Review", en *Techno-Legal Aspects of the Information Society and New Economy: an Overview*, Badajoz, Formatex.
- Gómez, C. A. (2004), "El presupuesto público en la gestión eficiente de los municipios", en *INNOVAR: Revista de Ciencias Administrativas y Sociales*, Vol. 14 N° 24, pp. 105-111.
- Gruber, J. (2005), *Public Finance and Public Policy*, New York, Macmillan.
- Heim, J. J. (2016), "Do Government Stimulus Programs Have Different Effects in Recessions, or by Type of Tax or Spending Program?", en *Empirical Economics*, Vol. 51 N° 4, pp. 1333-1368.
- Hindman, M. (2015), "Building Better Models: Prediction, Replication, and Machine Learning in the Social Sciences", en *The Annals of the American Academy of Political and Social Science*, Vol. 659 N° 1, pp. 48-62.

- Hopfield, J. J. (1988), "Artificial Neural Networks", en *IEEE Circuits and Devices Magazine*, Vol. 4 N° 5, pp. 3-10.
- Jensen, C. (2012), "Two Sides of the Same Coin? Left-Wing Governments and Labour Unions as Determinants of Public Spending", en *Socio-Economic Review*, Vol. 10 N° 2, pp. 217-240.
- Jordan, M. I. (2019), "Artificial Intelligence: the Revolution Hasn't Happened Yet", en *Harvard Data Science Review*, Vol. 1 N° 1.
- Kaldor, N. (1966), "Marginal Productivity and the Macro-Economic Theories of Distribution: Comment on Samuelson and Modigliani", en *The Review of Economic Studies*, Vol. 33 N° 4, pp. 309-319.
- Karim, A. y Noy, I. (2020), "Risk, Poverty or Politics? The Determinants of Subnational Public Spending Allocation for Adaptive Disaster Risk Reduction in Bangladesh", en *World Development*, Vol. 129, Article 104901.
- Kim, Y. S. (2008), "Comparison of the Decision Tree, Artificial Neural Network, and Linear Regression Methods Based on the Number and Types of Independent Variables and Sample Size", en *Expert Systems with Applications*, Vol. 34 N° 2, pp. 1227-1234.
- Kopańska, A. y Asinski, R. (2019), "Fiscal and Political Determinants of Local Government Involvement in Public-Private Partnership (PPP)", en *Local Government Studies*, Vol. 45 N° 6, pp. 957-976.
- Leiderman, L. y Razin, A. (1991), "Determinants of External Imbalances: the Role of Taxes, Government Spending, and Productivity", en *Journal of the Japanese and International Economies*, Vol. 5 N° 4, pp. 421-450.
- Lin, S. A. Y. (1994), "Government Spending and Economic Growth", en *Applied Economics*, Vol. 26 N° 1, pp. 83-94.
- Marsh, R. M. (2015), "Determinants of Income Inequality in the Early Twenty-First Century: a Cross-National Study", en *Comparative Sociology*, Vol. 14 N° 2, pp. 219-251.
- McCall, J. (2005), "Genetic Algorithms for Modelling and Optimisation", en *Journal of Computational and Applied Mathematics*, Vol. 184 N° 1, pp. 205-222.
- McCausland, W. D. y Theodossiou, I. (2015), "The Consequences of Fiscal Stimulus on Public Debt: a Historical Perspective", en *Cambridge Journal of Economics*, Vol. 40 N° 4, pp. 1103-1116.
- McCulloch, W. S. y Pitts, W. (1943), "A Logical Calculus of the Ideas Immanent in Nervous Activity", en *The Bulletin of Mathematical Biophysics*, Vol. 5 N° 4, pp. 115-133.

- McInnes, M. D. F. ...[et al] (2018), "Preferred Reporting Items for a Systematic Review and Meta-Analysis of Diagnostic Test Accuracy Studies: the PRISMA-DTA Statement", en *Jama*, Vol. 319 N° 4, pp. 388-396.
- McLaren, L. y Dutton, D. J. (2020), "The Social Determinants of Pandemic Impact: an Opportunity to Rethink What We Mean by 'Public Health Spending'", en *Canadian Journal of Public Health*, Vol. 111 N° 4, pp. 451-453.
- Medina, O. V. (2020), *La ejecución presupuestal y su relación en el manejo de la epidemia COVID-19 bajo el Decreto de Urgencia 051-2020 en las regiones del Perú*, Arequipa, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Tesis de Maestría.
- Michalski, R. S.; Carbonell, J. G.; y Mitchell, T. M. (eds.) (2013), *Machine Learning: an Artificial Intelligence Approach*, Berlin, Springer Science and Business Media.
- Miller, T. (2019), "Explanation in Artificial Intelligence: Insights from the Social Sciences", en *Artificial Intelligence*, Vol. 267, pp. 1-38, <https://doi.org/10.1016/j.artint.2018.07.007>.
- Minsky, M. L. y Papert, S. A. (1969), *Perceptrons*, Cambridge, MIT Press.
- Mitchell, D. J. (2005), "The Impact of Government Spending on Economic Growth", en *The Heritage Foundation*, N° 1813, pp. 1-18.
- Mitchell, M. (1998), *An Introduction to Genetic Algorithms* Mitchell, Cambridge, MIT Press.
- Mogues, T. (2015), "Political Economy Determinants of Public Spending Allocations: a Review of Theories, and Implications for Agricultural Public Investment", en *The European Journal of Development Research*, Vol. 27 N° 3, pp. 452-473.
- Musgrave, R. A. (1973), *Public Finance in Theory and Practice*, Tokyo, McGraw-Hill Kogakusha.
- Ono, Y. (2011), "The Keynesian Multiplier Effect Reconsidered", en *Journal of Money, Credit and Banking*, Vol. 43 N° 4, pp. 787-794.
- Oszlak, O. (2020), "Los impactos de la 'era exponencial' sobre la gestión pública en los países emergentes", en *Revista del CLAD Reforma y Democracia*, N° 76, pp. 5-38.
- Ros, J. (2004), *El crecimiento económico en México y Centroamérica: desempeño reciente y perspectivas*, Santiago, CEPAL.
- Russell, S. y Norvig, P. (2002), *Artificial Intelligence: a Modern Approach*, New Jersey, Pearson.
- Russo, F. y Verzichelli, L. (2016), "Government Ideology and Party Priorities: the Determinants of Public Spending Changes in Italy", en *Italian Political Science Review/ Rivista Italiana Di Scienza Politica*, Vol. 46 N° 3, pp. 269-290.

- Salvador, M. y Ramió, C. (2020), "Capacidades analíticas y gobernanza de datos en la Administración pública como paso previo a la introducción de la Inteligencia Artificial", en *Revista del CLAD Reforma y Democracia*, N° 77, pp. 5-36.
- Selçuk, A. A. (2019), "A Guide for Systematic Reviews: Prisma", en *Turkish Archives of Otorhinolaryngology*, Vol. 57 N° 1, pp. 57-58.
- Solt, F. (2009), "Standardizing the World Income Inequality Database", en *American Economic Review*, Vol. 90 N° 2, pp. 231-242.
- Stevens, J. P. (2012), *Applied Multivariate Statistics for the Social Sciences*, New York, Routledge.
- Sun, T. Q. y Medaglia, R. (2019), "Mapping the Challenges of Artificial Intelligence in the Public Sector: Evidence from Public Healthcare", en *Government Information Quarterly*, Vol. 36 N° 2, pp. 368-383, <https://doi.org/10.1016/j.giq.2018.09.008>.
- Swarnkar, Agrani y Swarnkar, Anil (2020), "Artificial Intelligence Based Optimization Techniques: a Review", en *Intelligent Computing Techniques for Smart Energy Systems*, Akhtar Kalam ...[et al] (eds.), Singapore, Springer (Lecture Notes in Electrical Engineering; Vol. 607), pp. 95-103.
- Tames, L. A. L.; Campos, B. C.; y Navarro, F. A. C. (2020), "Inteligencia artificial para la transformación digital en toma de decisiones", en *Tecnología Vital*, Vol. 1 N° 7.
- Tang, Y. (2020), "Government Spending on Local Higher Education Institutions (LHEIs) in China: Analysing the Determinants of General Appropriations and their Contributions", en *Studies in Higher Education*, Vol. 47 N° 2, pp. 1-14.
- Transparencia Presupuestaria (2020), *Presupuesto de egresos de la federación 2020*, México, Secretaría de Hacienda y Crédito Público.
- Valle-Cruz, D. (2019), "Public Value of E-Government Services through Emerging Technologies", en *International Journal of Public Sector Management*, Vol. 32 N° 5, <https://doi.org/10.1108/IJPSM-03-2018-0072>.
- Valle-Cruz, D.; Fernández-Cortez, V.; y Gil-García, J. R. (2021), "From E-Budgeting to Smart Budgeting: Exploring the Potential of Artificial Intelligence in Government Decision-Making for Resource Allocation", en *Government Information Quarterly*, Vol. 39 N° 2, <https://doi.org/10.1016/j.giq.2021.101644>.
- Valle-Cruz, D.; Gil-García, J. R.; y Fernández-Cortez, V. (2020), "Towards Smarter Public Budgeting? Understanding the Potential of Artificial Intelligence Techniques to

- Support Decision Making in Government”, paper presented at the 21st Annual International Conference on Digital Government Research, Seoul, Republic of Korea, June 15-19, pp. 232-242.
- Velázquez, D. (2015), “El efecto del gasto público en el ciclo económico: una visión alternativa”, en *Estudios Económicos* (México, D.F.), Vol. 30 N° 1, pp. 93-140.
- Wang, E. y Alvi, E. (2011), “Relative Efficiency of Government Spending and its Determinants: Evidence from East Asian Countries”, en *Eurasian Economic Review*, Vol. 1 N° 1, pp. 3-28.
- Wang, S.; Zhao, D.; Yuan, J.; Li, H.; y Gao, Y. (2019), “Application of NSGA-II Algorithm for Fault Diagnosis in Power System”, en *Electric Power Systems Research*, Vol. 175, Article 105893.
- Wassmer, R. W.; Lascher, E. L.; y Kroll, S. (2009), “Sub-National Fiscal Activity as a Determinant of Individual Happiness: Ideology Matters”, en *Journal of Happiness Studies*, Vol. 10 N° 5, pp. 563-582.
- West, P. M.; Brockett, P. L.; y Golden, L. L. (1997), “A Comparative Analysis of Neural Networks and Statistical Methods for Predicting Consumer Choice”, en *Marketing Science*, Vol. 16 N° 4, pp. 370-391.
- Wildavsky, A. B. y Caiden, N. (1988), *The New Politics of the Budgetary Process*, Scott, Foresman Glenview.
- Yu, X. y Gen, M. (2010), *Introduction to Evolutionary Algorithms*, London, Springer Science and Business Media.
- Zhou, Y.; Cao, S.; Kosonen, R.; y Hamdy, M. (2020), “Multi-Objective Optimisation of an Interactive Buildings-Vehicles Energy Sharing Network with High Energy Flexibility Using the Pareto Archive NSGA-II Algorithm”, en *Energy Conversion and Management*, Vol. 218, Article 113017.

Anexo

Resultados de las simulaciones con algoritmos genéticos multiobjetivo

| Modelo | Gasto | Máx. PIB | Mín. Inflación | Mín. Gini |
|--------|--------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 1 | Transferencias | 890077.9131799940000 | 84727.8713994364000 | 61252.2231865744000 |
| | Deuda.externa | 811827.4160660800000 | 144642.7262385210000 | 21993.7153160572000 |
| | Seguridad | 747516.3221824910000 | 461243.8139063090000 | 993044.7803344580000 |
| | Industria | 154911.7257818580000 | 516451.1596203840000 | 583949.1094451170000 |
| | Agricultura | 124742.0886065810000 | 673554.9878794700000 | 790137.8012204330000 |
| | Educación | 974725.8084826170000 | 54646.6693074594000 | 660361.1522585870000 |
| | Pobreza | 436129.9960874020000 | 725534.1164345380000 | 425783.9481553690000 |
| | Crecimiento. poblacional | 464016.6268218310000 | 890996.3561810570000 | 979203.7301231180000 |
| | lyD | 165298.0812359600000 | 631850.1753266900000 | 44147.0679361373000 |
| | Gastos. Gobierno | 584936.5573376420000 | 87481.3007965811000 | 107188.7996393820000 |
| | Desempleo | 270778.0194468800000 | 921065.2038455010000 | 196528.7948490690000 |
| | Ahorro.bruto | 230096.9203934070000 | 675362.3811528090000 | 788282.2504037880000 |
| | Salud | 691207.8314926480000 | 118638.0623789060000 | 376816.4168577640000 |
| 2 | Transferencias | 889833.3395544080000 | 84727.8713994364000 | 482902.3971688000000 |
| | Deuda.externa | 854699.3742957670000 | 10356.7509512250000 | 912591.8863908760000 |
| | Seguridad | 735297.9167956030000 | 466302.0835435870000 | 957207.7746146550000 |
| | Industria | 154911.7257818580000 | 614626.7434418380000 | 613504.6503301020000 |
| | Agricultura | 164543.2391010220000 | 535510.1229459550000 | 444841.6008067570000 |
| | Educación | 927490.8585380450000 | 147288.8956574080000 | 213120.4910445520000 |
| | Pobreza | 494565.7369091590000 | 480902.8258047480000 | 935299.8032700270000 |
| | Crecimiento. poblacional | 189405.2157114930000 | 990180.9411242030000 | 265729.6069104600000 |
| | lyD | 204645.3736455780000 | 714795.6980013380000 | 60014.3019277264000 |
| | Gastos. Gobierno | 812150.4298734810000 | 9322.2992005296000 | 972527.5316871310000 |
| | Desempleo | 436402.7686446870000 | 985416.4560118640000 | 938422.0090036590000 |
| | Ahorro.bruto | 252204.8133183740000 | 739041.9078011770000 | 251669.1120966250000 |
| | Salud | 691207.8314926480000 | 259262.4886433250000 | 586273.4521364410000 |

Anexo (continuación)
Resultados de las simulaciones con algoritmos genéticos multiobjetivo

| Modelo | Gasto | Máx. PIB | Mín. Inflación | Mín. Gini |
|--------|-------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 3 | Transferencias | 69795.1824217020000 | 901914.6760825890000 | 886212.7516364120000 |
| | Deuda.externa | 3819.7055506741500 | 937771.4184022950000 | 767595.3360479250000 |
| | Seguridad | 595928.9242491720000 | 854183.1276858560000 | 957000.0925797050000 |
| | Industria | 614626.7434418380000 | 8649.2024641574000 | 493849.1813962060000 |
| | Agricultura | 983531.6624896460000 | 113392.7682100920000 | 147013.3653700950000 |
| | Educación | 43234.3689236038000 | 934035.1832304310000 | 875049.8927954440000 |
| | Pobreza | 492105.0620098610000 | 196159.2437560680000 | 196159.2437560680000 |
| | Crecimiento poblacional | 977219.8107591210000 | 37732.9132130813000 | 81656.0243797655000 |
| | IyD | 697772.5030784720000 | 69065.0819732735000 | 619343.3386595840000 |
| | Gastos. Gobierno | 4321.7901811887000 | 927498.0740288980000 | 899611.2591555300000 |
| | Desempleo | 776546.2906851920000 | 436402.7686446870000 | 436402.7686446870000 |
| | Ahorro.bruto | 780894.5821581670000 | 131485.4761701580000 | 136402.8053938810000 |
| | Salud | 295824.8870365880000 | 345090.4117838400000 | 392608.3792617440000 |
| 4 | Transferencias | 32276.5095295476000 | 854562.5866916160000 | 854562.5866916160000 |
| | Deuda.externa | 56176.3367509231000 | 981971.5169976850000 | 981971.5169976850000 |
| | Seguridad | 664820.7646485190000 | 986568.4803948270000 | 986568.4803948270000 |
| | Industria | 614626.7434418380000 | 32413.0261134517000 | 32413.0261134517000 |
| | Agricultura | 989661.9549214450000 | 80522.2647975680000 | 80522.2647975680000 |
| | Educación | 46867.7091448202000 | 976179.7435845420000 | 976179.7435845420000 |
| | Pobreza | 919205.0380228820000 | 226875.0405971440000 | 226875.0405971440000 |
| | Crecimiento poblacional | 961731.6761171590000 | 1207.3365406970300 | 1207.3365406970300 |
| | IyD | 700032.3814817450000 | 12877.0105265013000 | 12877.0105265013000 |
| | Gastos. Gobierno | 4321.7901811887000 | 957943.2555181800000 | 957943.2555181800000 |
| | Desempleo | 806132.8421294460000 | 517612.3654073810000 | 517612.3654073810000 |
| | Ahorro.bruto | 989808.1887610130000 | 33808.5422618250000 | 33808.5422618250000 |
| | Salud | 448680.0928502870000 | 328063.8076898830000 | 328063.8076898830000 |

Anexo (continuación)
Resultados de las simulaciones con algoritmos genéticos multiobjetivo

| Modelo | Gasto | Máx. PIB | Mín. Inflación | Mín. Gini |
|--------|-------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 5 | Transferencias | 981269.3431183540000 | 49241.6900203103000 | 234591.7103558570000 |
| | Deuda.externa | 986207.5537959540000 | 68535.3613103286000 | 42482.7851506684000 |
| | Seguridad | 708966.2823234220000 | 437745.7233540500000 | 239109.2065907600000 |
| | Industria | 6833.2793622920600 | 915401.6177787660000 | 6354.6588894786500 |
| | Agricultura | 30011.8444659122000 | 988595.5534929980000 | 830893.9674565370000 |
| | Educación | 976179.0726405540000 | 2037.7840618998600 | 8.0419401974341 |
| | Pobreza | 76986.5581510518000 | 933731.2846642430000 | 865500.5144059580000 |
| | Crecimiento poblacional | 1447.5196348709000 | 996208.1901527100000 | 896782.4875253330000 |
| | lyD | 126602.4529226420000 | 991440.3656093280000 | 920030.6040653010000 |
| | Gastos. Gobierno | 990554.6843228300000 | 5361.7665816521000 | 75796.8099204055000 |
| | Desempleo | 707523.5907914270000 | 854681.7063832900000 | 589625.4823324110000 |
| | Ahorro.bruto | 1279.6433337642000 | 954777.8525598990000 | 908227.2539140560000 |
| | Salud | 78438.7565674497000 | 935602.3595986840000 | 273495.6405419500000 |
| 6 | Transferencias | 993480.2833499350000 | 62.1436263164919 | 743090.7529915860000 |
| | Deuda.externa | 986207.5537959540000 | 2184.8085491020900 | 768824.2148583760000 |
| | Seguridad | 918988.3310393110000 | 294557.4095171470000 | 731838.9027692930000 |
| | Industria | 7309.2169691161300 | 956313.9248599720000 | 16950.4769818290000 |
| | Agricultura | 10219.4980645802000 | 998445.6100791600000 | 914585.0111014520000 |
| | Educación | 976179.0726405540000 | 5201.2426085599800 | 967213.7896843330000 |
| | Pobreza | 41955.0698236032000 | 976061.3337433540000 | 149504.8174610090000 |
| | Crecimiento poblacional | 4206.5299259024400 | 995577.7482034200000 | 420096.2876790310000 |
| | lyD | 46467.1071798697000 | 986494.6131404860000 | 108033.7588875090000 |
| | Gastos. Gobierno | 975125.2290498020000 | 172.9775216702060 | 78673.2997264173000 |
| | Desempleo | 666425.8104280340000 | 973672.1130780870000 | 673262.0666124170000 |
| | Ahorro.bruto | 667.7236982991670 | 956870.2445987690000 | 23829.4776577353000 |
| | Salud | 9649.2865011578400 | 988001.3313525050000 | 155130.1321315540000 |

Anexo (continuación)
Resultados de las simulaciones con algoritmos genéticos multiobjetivo

| Modelo | Gasto | Máx. PIB | Mín. Inflación | Mín. Gini |
|--------|-------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 7 | Transferencias | 0.0000000000111 | 1000000.0000000000000 | 1000000.0000000000000 |
| | Deuda.externa | 0.0000000000835 | 1000000.0000000000000 | 1000000.0000000000000 |
| | Seguridad | 0.0000000000000 | 1000000.0000000000000 | 1000000.0000000000000 |
| | Industria | 1000000.0000000000000 | 0.0000000000102 | 0.0000000000102 |
| | Agricultura | 1000000.0000000000000 | 0.0000000000100 | 0.0000000000100 |
| | Educación | 0.0000000000350 | 1000000.0000000000000 | 1000000.0000000000000 |
| | Pobreza | 1000000.0000000000000 | 0.0000000000085 | 0.0000000000085 |
| | Crecimiento.poblacional | 1000000.0000000000000 | 0.0000000004553 | 0.0000000004553 |
| | lyD | 1000000.0000000000000 | 0.0000000003303 | 0.0000000003303 |
| | Gastos.Gobierno | 0.0000000000000 | 1000000.0000000000000 | 1000000.0000000000000 |
| | Desempleo | 1000000.0000000000000 | 0.0000000006489 | 0.0000000006489 |
| | Ahorro.bruto | 1000000.0000000000000 | 0.0000000003511 | 0.0000000003511 |
| | Salud | 1000000.0000000000000 | 0.000000000226 | 0.000000000226 |
| 8+ | Transferencias | 0.0000000000111 | 1000000.0000000000000 | 1000000.0000000000000 |
| | Deuda.externa | 0.0000000000835 | 1000000.0000000000000 | 1000000.0000000000000 |
| | Seguridad | 0.0000000000000 | 1000000.0000000000000 | 1000000.0000000000000 |
| | Industria | 1000000.0000000000000 | 0.0000000000102 | 0.0000000000102 |
| | Agricultura | 1000000.0000000000000 | 0.0000000000100 | 0.0000000000100 |
| | Educación | 0.0000000000350 | 1000000.0000000000000 | 1000000.0000000000000 |
| | Pobreza | 1000000.0000000000000 | 0.0000000000085 | 0.0000000000085 |
| | Crecimiento.poblacional | 1000000.0000000000000 | 0.0000000004553 | 0.0000000004553 |
| | lyD | 1000000.0000000000000 | 0.0000000003303 | 0.0000000003303 |
| | Gastos.Gobierno | 0.0000000000000 | 1000000.0000000000000 | 1000000.0000000000000 |
| | Desempleo | 1000000.0000000000000 | 0.0000000006489 | 0.0000000006489 |
| | Ahorro.bruto | 1000000.0000000000000 | 0.0000000003511 | 0.0000000003511 |
| | Salud | 1000000.0000000000000 | 0.000000000226 | 0.000000000226 |

Anexo (continuación)
Resultados de las simulaciones con algoritmos genéticos multiobjetivo

| Modelo | Gasto | Máx. PIB | Mín. Inflación | Mín. Gini |
|--------|--------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 9 | Transferencias | 10644.3368480849000 | 993480.2833499350000 | 636124.3176589210000 |
| | Deuda.externa | 14386.5782286459000 | 986207.5537959540000 | 6967.6531832705400 |
| | Seguridad | 473712.3033692270000 | 734304.4082772460000 | 965384.6706563080000 |
| | Industria | 969420.8571700810000 | 6833.2793622920600 | 3294.1772447580100 |
| | Agricultura | 998445.6100791600000 | 30011.8444659122000 | 958613.8649035300000 |
| | Educación | 2450.4970537435100 | 976179.0726405540000 | 886615.2017452770000 |
| | Pobreza | 984908.7497407140000 | 45004.7251389264000 | 343092.5705210010000 |
| | Crecimiento. poblacional | 995577.7482034200000 | 4206.5299259024400 | 141791.5950763610000 |
| | lyD | 991440.3656093280000 | 126602.4529226420000 | 163293.4475372840000 |
| | Gastos. Gobierno | 10585.0175400094000 | 986387.0697424230000 | 109166.5527769200000 |
| | Desempleo | 961617.7367597040000 | 707523.5907914270000 | 685416.0000414240000 |
| | Ahorro.bruto | 956870.2445987690000 | 1279.6433337642000 | 939418.6254224590000 |
| | Salud | 988758.8247658160000 | 25288.6857060713000 | 954068.9868592090000 |
| 10 | Transferencias | 62947.5212221299000 | 914783.0766824710000 | 62947.5212221299000 |
| | Deuda.externa | 35217.4675276854000 | 986207.5537959540000 | 56176.3367509231000 |
| | Seguridad | 722131.5587037580000 | 708966.2823234220000 | 722341.2684617320000 |
| | Industria | 567656.1709080550000 | 4353.8478727396300 | 29732.9631395495000 |
| | Agricultura | 989661.9549214450000 | 30011.8444659122000 | 989661.9549214450000 |
| | Educación | 80003.0640308296000 | 976179.0726405540000 | 71481.7653668103000 |
| | Pobreza | 997844.8248039740000 | 76986.5581510518000 | 919205.0380228820000 |
| | Crecimiento. poblacional | 965024.1499597340000 | 1447.5196348709000 | 961731.6761171590000 |
| | lyD | 989358.7451039600000 | 126602.4529226420000 | 129642.6074489090000 |
| | Gastos. Gobierno | 4321.7901811887000 | 957943.2555181800000 | 4321.7901811887000 |
| | Desempleo | 836688.9180860420000 | 575841.9637039590000 | 453295.7378472680000 |
| | Ahorro.bruto | 988652.1172847530000 | 1279.6433337642000 | 989808.1887610130000 |
| | Salud | 508718.6979815220000 | 78438.7565674497000 | 448680.0928502870000 |

Anexo (continuación)
Resultados de las simulaciones con algoritmos genéticos multiobjetivo

| Modelo | Gasto | Máx. PIB | Mín. Inflación | Mín. Gini |
|------------|-----------|------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Adecuación | Modelo 1 | -2215814.6273440500000 | 5029654.8945486900000 | 3640838.5440405000000 |
| | Modelo 2 | -2443613.4956918000000 | 5361183.9767028300000 | -4586614.7590463800000 |
| | Modelo 3 | 2203189.5510568600000 | -9710893.4992757200000 | -10041475.2225900000000 |
| | Modelo 4 | 2552822.4182427500000 | -10321509.8591269000000 | -12689734.1777495000000 |
| | Modelo 5 | -3756696.7916290300000 | 9505551.9373002400000 | 7615100.0159802900000 |
| | Modelo 6 | -3920098.6988839500000 | 10289014.6766627000000 | -4430281.4177602500000 |
| | Modelo 7 | 3445437.2029999900000 | -12425729.4450000000000 | 11067806.3302508000000 |
| | Modelo 8* | 3445437.2030000000000 | -12425729.4450000000000 | -15248550.8070000000000 |
| | Modelo 9 | 3194747.0998176600000 | -11302961.3766585000000 | 2486427.7749799000000 |
| | Modelo 10 | 2640053.6704873500000 | -10955325.8637646000000 | 8087325.7423894600000 |

Fuente: elaboración propia.

* Modelo 1: generaciones = 1, Tamaño de la población = 100.

Modelo 2: generaciones = 5, Tamaño de la población = 100.

Modelo 3: generaciones = 25, Tamaño de la población = 100.

Modelo 4: generaciones = 50, Tamaño de la población = 100.

Modelo 5: generaciones = 75, Tamaño de la población = 100.

Modelo 6: generaciones = 100, Tamaño de la población = 100.

Modelo 7: generaciones = 1000, Tamaño de la población = 100.

Modelo 8: generaciones = 10000, Tamaño de la población = 100.

Modelo 9: generaciones = 88, Tamaño de la población = 100.

Modelo 10: generaciones = 62, Tamaño de la población = 100.

Se seleccionó el modelo 8, ya que tiene los mejores valores de adecuación.