



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Inversión y ciclo de negocios desde una perspectiva kaleckiana: un caso aplicado para Colombia

Jeisson Gabriel Parra Mariño

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ciencias Económicas, Maestría en Ciencias Económicas

Bogotá, Colombia

2023

Inversión Y Ciclo De Negocios Desde Una Perspectiva Kaleckiana: Un Caso Aplicado Para Colombia

Jeisson Gabriel Parra Mariño

Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de:

Magister en Ciencias Económicas

Director:

Álvaro Martín Moreno Rivas

Línea de Investigación:

Teoría y Política Económica

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ciencias Económicas, Maestría en Ciencias Económicas

Bogotá, Colombia

2023

Dedico esta tesis con amor y gratitud a mi familia, a quienes amo infinitamente. Su apoyo incondicional ha sido el cimiento que me ha permitido cumplir mi sueño de continuar estudiando y concluir esta investigación.

A mi amada pareja, gracias por ser mi mayor fuente de inspiración y por alentarme en cada paso de este camino académico.

A mi tutor de tesis, Martín Moreno, no tengo palabras suficientes para agradecer su paciencia y guía. Gracias por permitirme explorar y ser como una hoja al viento, un molino que rueda o una gota de río en este fascinante viaje de investigación. Sin su apoyo, esta realidad nunca hubiera sido posible.

Quiero honrar la memoria de Michal, cuyo legado como economista seguirá siendo relevante para siempre en mi corazón. Aunque ya no esté físicamente presente, su influencia en mi trabajo es innegable, y su inspiración perdura en cada página de esta tesis. Incluso Maynard, aunque esta vez no haya sido el protagonista.

Por último, mi agradecimiento sincero al profesor Cárdenas del Rey, cuya investigación sobre Michal fue un pilar fundamental para esta tesis.

A las sillas en las que me senté, a las sonrisas que eché, a las lágrimas que saqué y, sobre todo, al amor que expresé.

A todos ustedes, mi más profundo agradecimiento por ser parte de este logro. Su apoyo y presencia han sido invaluable, y este trabajo no habría sido posible sin su aliento y respaldo constante.

¡Gracias!

Resumen

Inversión y ciclo de negocios desde una perspectiva kaleckiana: un caso aplicado para Colombia

Este estudio se centra en los aportes del economista Michal Kalecki y la corriente poskeynesiana en la teoría de la inversión, abordando factores clave que suelen ser pasados por alto en las teorías convencionales. Se analizan los determinantes de la inversión, incluyendo la capacidad instalada, el apalancamiento financiero, el ingreso entre otros descritos por Kalecki, con el objetivo de proporcionar una visión completa y analítica sobre este tema.

El objetivo de la investigación es realizar una revisión bibliográfica exhaustiva de los trabajos de Kalecki y otros autores poskeynesianos sobre los determinantes de la inversión. Además, se llevan a cabo una aplicación empírica para contrastar la teoría con datos de la economía colombiana entre 2016 y 2022. Se emplea una red neuronal no lineal con perceptrón multicapa para el análisis.

Los resultados revelan que, a corto plazo, la inversión en capital fijo está fuertemente influenciada por las variaciones en el ingreso, las expectativas de producción y la tasa de ganancia. No obstante, el comportamiento de la capacidad instalada es ambiguo. Además, se observa un efecto limitado del apalancamiento financiero a largo plazo, lo que sugiere que los empresarios enfrentan dificultades para acceder al crédito.

El estudio y los resultados empíricos en Colombia mejoran la comprensión de los determinantes de la inversión, aportando a la formulación de políticas y futuras investigaciones en teoría de la inversión y macroeconomía.

Palabras clave: Inversión kaleckiana, formación bruta de capital fijo, teoría post-keynesiana, red neuronal, ciclo de negocios y política económica.

Abstract**Investment and business cycle from a Kaleckian perspective: an applied case for Colombia**

This study focuses on the contributions of the economist Michal Kalecki and the post-Keynesian school in the theory of investment, addressing key factors often overlooked in conventional theories. It analyzes the determinants of investment, including capacity utilization, financial leverage, income, among others described by Kalecki, with the aim of providing a comprehensive and analytical view on this subject.

The research objective is to conduct a comprehensive literature review of the works of Kalecki and other post-Keynesian authors on investment determinants. In addition, an empirical application is carried out to test the theory using data from the Colombian economy between 2016 and 2022. A nonlinear neural network with a multilayer perceptron is employed for the analysis.

The results reveal that, in the short term, fixed capital investment is strongly influenced by variations in income, production expectations, and the rate of profit. However, the behavior of capacity utilization is ambiguous. Furthermore, there is a limited long-term effect of financial leverage, suggesting that entrepreneurs face difficulties in accessing credit.

The study and empirical results in Colombia enhance the understanding of investment determinants, contributing to policy formulation and future research in investment theory and macroeconomics.

Keywords: Kaleckian investment, gross fixed capital formation, post-keynesian theory, neural network, business cycle, economic policy.

Contenido

Contenido.....		6
Introducción		9
1. Marco Teórico.....		11
1.1 La Inversión Desde La Perspectiva De Kalecki Y Sus Factores Determinantes ..		11
1.2 Las Principales Críticas A La Teoría Del Acelerador Flexible O Neoclásico.....		22
1.3 Las Principales Críticas A La Teoría De La Eficiencia Marginal De Capital		28
2. Metodología		31
2.1 Modelo De Redes Neuronales Con Perceptrón Multicapa		31
2.1.1 Especificación De Los Datos		31
2.2 Especificación del Modelo de Redes Neuronales con Perceptrón Multicapa.....		35
2.2.1 Planteamiento De La Red Neuronal Con Perceptrón Multicapa		37
2.2.1.1 Datos De Entrada Para La Red Neuronal.....		38
2.2.1.2 El Perceptrón De La Capa De Entrada.....		39
2.2.1.3 El Perceptrón De La Capa Oculta.		40
2.2.1.4 El Perceptrón De La Capa De Salida.		41
2.2.2 Análisis De Los Resultados De La Red Neuronal Con Perceptrón Multicapa Para La Determinación De La Direccionalidad Del Ciclo De Negocios Kaleckiano		42
3. Conclusiones		55
Anexos		58
Anexo A. Redes neuronales con perceptrón multicapa		58
Bibliografía		62

Lista De Figuras

Figura 1 Elementos que componen una red neuronal	36
Figura 2 Fórmula del perceptrón.....	38
Figura 3 Red neuronal con perceptrón multicapa para la determinación de la direccionalidad del ciclo de negocios kaleckiano	46

Lista De Tablas

Tabla 1 Especificación de las variables en el modelo y obtención de los datos	31
Tabla 2 Resumen del procesamiento de casos	43
Tabla 3 Información de red.....	44
Tabla 4 Clasificación	47
Tabla 5 Importancia de las variables independientes	48

Lista de símbolos

Símbolo	Definición
t	Periodo actual.
$t - 1$	Periodo anterior.
D	Demanda de inversión.
I	Inversión
S	Ahorro empresarial.
a, b, c, d, e, β	Parámetros o término de sesgo.
P	Beneficios empresariales.
K	Stock de capital.
Y	Producción o ingreso.
CI	Capacidad instalada.

EP	Expectativas de producción.
AF	Apalancamiento financiero.
TG	Tasa de ganancia.
W	Coefficientes de peso.
\tanh	Función de la tangente hiperbólica
x	Variable independiente.
e	Número de Euler.
H	Salida de la capa oculta.
n	Número de valores.
O	Salida de la capa salida.
V	Coefficientes de peso asociados a la salida de la capa oculta H .
softmax	Función softmax.

Introducción

La economía es un campo de estudio complejo y fascinante que busca constantemente explicar los comportamientos de los diferentes agregados macroeconómicos. Una variable de gran relevancia en este estudio es la inversión, siendo crucial en los ciclos económicos. Esta tesis de maestría se enfocará en la temática de la inversión y el ciclo de negocios desde una perspectiva kaleckiana, aplicada específicamente al contexto colombiano.

Dentro del análisis clásico, se han destacado dos enfoques teóricos en el estudio de la inversión: la teoría del acelerador neoclásico y la eficiencia marginal del capital (EMC) propuesta por Keynes. Si bien estas perspectivas han contribuido al entendimiento de la inversión, presentan limitaciones en la determinación de la función de inversión y, por ende, en sus conclusiones sobre la naturaleza del ciclo económico.

Aunque las propuestas anteriores aún son aceptadas en la literatura económica, han sido objeto de críticas, especialmente por los economistas post-keynesianos, entre los cuales se destaca la figura de Michał Kalecki. La perspectiva kaleckiana ofrece una visión alternativa y más completa en la determinación de la inversión y su relación con el ciclo de negocios.

El objetivo principal de esta tesis de maestría es identificar teórica y empíricamente los determinantes de la inversión y analizar su incidencia en el ciclo de negocios colombiano para el periodo comprendido entre 2016 y 2022. Aunque existen muchos trabajos empíricos sobre la inversión, pocos abordan esta temática desde esta corriente de pensamiento, debido a la dificultad de modelar o encontrar una aplicación que satisfaga las condiciones de no linealidad presentes en esta teoría, ya que la ciencia económica suele utilizar metodologías lineales en sus casos de estudio.

El estudio de la inversión y el ciclo de negocios es de vital importancia para comprender el comportamiento económico de Colombia y, en general, de cualquier economía. Es especialmente relevante analizar dicho estudio en el periodo comprendido entre 2016 y 2022, cuando la pandemia de la Covid-19 tuvo un impacto significativo en las condiciones económicas. Aunque esta investigación no se centra específicamente en dicho suceso, su objetivo central es comprender la inversión desde una perspectiva kaleckiana, con el propósito de enriquecer el análisis económico de manera más amplia.

El presente trabajo de tesis se estructura en dos etapas fundamentales. En primer lugar, se llevará a cabo un análisis de revisión bibliográfica de los determinantes de la inversión, abarcando las perspectivas kaleckiana y poskeynesianas. Esto incluirá la crítica de Kalecki a la teoría del acelerador neoclásico y la eficiencia marginal del capital (EMC).

En la siguiente etapa, se procederá a la determinación y desarrollo de una red neuronal con perceptrón multicapa que incluirá los determinantes de la inversión descritos por Kalecki, como la capacidad instalada, el apalancamiento financiero y el ingreso, entre otros, durante el periodo 2016-2022 en Colombia. Se evaluará la capacidad de la red para pronosticar los movimientos del ciclo de negocios y analizar el impacto de los determinantes de la inversión en dicha red.

En conclusión, esta tesis de maestría abordará la temática de la inversión y el ciclo de negocios desde una perspectiva kaleckiana aplicada al caso de Colombia. Se espera que los resultados obtenidos contribuyan al avance del conocimiento económico y sean de utilidad para la formulación de políticas económicas en el país. La combinación de enfoques teóricos y metodológicos permitirá obtener una visión más completa y precisa del comportamiento económico y sus determinantes en el contexto colombiano.

1. Marco Teórico

La inversión desempeña un papel fundamental en la demanda agregada de una economía, lo cual la convierte en un factor crítico en el análisis económico (Camacho, 2012). Este componente resulta relevante para evaluar la actividad económica y puede ejercer una influencia significativa en el crecimiento económico a largo plazo, ya que afecta directamente la capacidad productiva de la economía. Además, la inversión puede generar un impacto considerable en otras variables, tales como el empleo, la productividad y la distribución del ingreso.

En el análisis macroeconómico, la inversión es una medida importante de la actividad económica y puede proporcionar tendencias económicas futuras. Además, es un indicador clave para los inversores, ya que representa su confianza en el futuro de la economía. Las empresas o individuos solo invertirán si creen que obtendrán un retorno de su inversión.

En este capítulo, se profundiza en el desarrollo teórico de la inversión y sus factores determinantes desde la perspectiva kaleckiana, en consonancia con los enfoques post-keynesianos. Se examina la crítica que Kalecki dirige hacia las principales teorías de la inversión, como la teoría del acelerador neoclásico y la eficiencia marginal de capital (EMC) propuesta por Keynes (Cárdenas del Rey, 2018).

1.1 La Inversión Desde La Perspectiva De Kalecki Y Sus Factores Determinantes

La perspectiva kaleckiana ofrece flexibilidad teórica para conectar diferentes enfoques y explicaciones sobre los determinantes de la función de inversión. Entre ellos se incluyen factores reales, físicos, financieros e institucionales, tales como rentabilidad, grado de utilización, inercia, crédito, apalancamiento, tecnología y marco institucional, entre otros. Esta capacidad de incorporar diferentes factores hace que la inversión desde la perspectiva kaleckiana sea altamente adaptable y aplicable a diversas corrientes teóricas (Cárdenas del Rey, 2018).

En consonancia con las ideas de Keynes, Kalecki sostiene que el ahorro y la inversión se igualan automáticamente, lo que implica que "la inversión se financia a sí misma" (Kalecki, 1956, p. 52). Sin embargo, Kalecki profundiza aún más en este fenómeno al señalar que la igualdad entre la inversión y el ahorro no solo se produce en el presente, sino también en períodos pasados. Esto significa que las decisiones de invertir están determinadas por el ahorro acumulado en períodos anteriores, a una tasa de ganancia y nivel de actividad dados (Medici, 2008; Jiménez, Jiménez, Briseño, & Barquera, 2021).

Kalecki coincidió con Keynes en su visión de que el ahorro es el resultado de las decisiones de consumo e inversión, las cuales determinan conjuntamente el ingreso (Camacho, 2012). Cuando las decisiones de inversión se materializan, el consumo se ve limitado y el ingreso se expande. Por lo tanto, cualquier acción que afecte al ingreso no impedirá que el ahorro, considerado como un excedente, aumente en una cantidad equivalente (Cárdenas del Rey, 2018).

La discusión sobre la naturaleza de la inversión gira en torno a la discrepancia con la teoría económica predominante, que considera la tasa de interés como el factor equilibrante entre la oferta y la demanda de capital nuevo (Cárdenas del Rey, 2018). Sin embargo, la perspectiva de Kalecki desafía esta visión al argumentar que la igualdad entre el ahorro y la inversión, el superávit de exportación y el déficit presupuestario se mantiene independientemente del nivel de la tasa de interés (Kalecki, 1956, p. 52). Según Kalecki, lo que adquiere verdadera importancia es el tipo de interés a largo plazo, que se redefine como el riesgo creciente asociado a la obtención de financiamiento mediante crédito para la inversión (Nutti, 2011).

Es de vital importancia tener en cuenta que la explicación de las decisiones de inversión no se limita exclusivamente a la tasa de interés, ya que esta no siempre es determinada

únicamente por la oferta de ahorro y la demanda de inversión (Cárdenas del Rey, 2018). Por lo tanto, comprender completamente el comportamiento de la inversión requiere considerar otros factores financieros, como el costo del capital, el riesgo y la disponibilidad de financiamiento. Además, los niveles de utilización del capital también son un factor determinante por considerar, ya que una empresa que ha alcanzado altos niveles de utilización de su capacidad productiva puede tener una mayor disposición para invertir en nuevos proyectos.

El principio de riesgo creciente constituye el concepto financiero y/o determinístico más importante en la perspectiva de Kalecki sobre la inversión (Cárdenas del Rey, 2018). Este principio se refiere a la progresiva posibilidad de pérdida de ingresos por parte de los empresarios en relación con la inversión propuesta en el período actual. A medida que la inversión supera el capital de la empresa, el riesgo aumenta, siendo aún mayor si el incremento se debe a la financiación externa en lugar de capital propio. Diversos autores han abordado este concepto, entre ellos Kalecki (1956), Sawyer (1985), López y Assous (2010), y Mott (2009).

Conforme aumenta la cantidad de inversión, también se incrementa el riesgo asociado (Cárdenas del Rey, 2018). Esto se debe a que a medida que un empresario destina más capital a la inversión, su posición de riqueza se vuelve más vulnerable en caso de que dicha inversión no sea exitosa (Kalecki, 1937). Si se recurre en exceso a la financiación externa en comparación con la inversión interna, el riesgo puede aumentar aún más debido a los mayores costos financieros relacionados con el apalancamiento y a la posibilidad de una disminución en la producción, lo cual podría reducir significativamente los beneficios (Cárdenas del Rey, 2018).

De acuerdo con Kalecki (1956), la capacidad de financiamiento de la inversión depende de los recursos internos de la empresa, ya que la financiación externa suele estar condicionada a la existencia de una base interna sólida. Esto demuestra que la tasa de interés no es el único

factor que determina la inversión (Camacho, 2012). En otras palabras, sin importar el nivel de la tasa de interés en un período determinado, un empresario no podrá acceder a la financiación externa sin contar con un respaldo previo de recursos propios. Por lo tanto, la tasa de interés monetaria solo afecta los beneficios derivados de los costos financieros, mientras que la decisión de inversión del empresario se basa en el nivel de recursos internos que permita expandir la inversión con la financiación externa disponible.

La inversión respaldada por recursos propios permite aprovechar el apalancamiento financiero, lo que a su vez establece una relación directa entre la tasa de interés y el riesgo que el empresario asume en su financiamiento (Cárdenas del Rey, 2018). En líneas generales, a medida que el grado de apalancamiento financiero aumenta, también lo hace la tasa de interés, ya que los prestamistas perciben un mayor riesgo en relación con el préstamo otorgado. Es decir, a medida que se incrementa el volumen de financiamiento concedido, las tasas de interés tienden a aumentar proporcionalmente. Este fenómeno se debe a que los prestamistas exigen una tasa de interés más elevada como compensación por el mayor riesgo que están dispuestos a asumir al proporcionar financiamiento adicional.

El interés a corto plazo se encuentra influenciado por la política monetaria implementada por la entidad central bancaria, la cual tiene el control sobre la oferta de dinero, la liquidez del sistema financiero y la tasa de interés de intervención (Cárdenas del Rey, 2018). Estos elementos inciden en la oferta y demanda de crédito, ejerciendo así un impacto en las tasas de interés a corto plazo. Por otro lado, la tasa de interés a largo plazo se determina mediante el coeficiente de riesgo, que representa la diferencia existente entre las tasas de interés de los préstamos a corto y largo plazo. Dicho coeficiente es establecido en una función de riesgo que contribuye a que las tasas de interés a largo plazo sean menos volátiles en comparación con las de corto plazo.

Por lo tanto, se puede afirmar que la decisión del empresario es la principal variable condicionante de la inversión. Sin embargo, esta decisión está condicionada por el riesgo creciente asociado a la obtención de financiamiento en el mercado financiero. El riesgo creciente se refiere a la diferencia entre la financiación externa y los fondos propios y se mantiene constante, independientemente de si los grandes empresarios tienen mayores facilidades para obtener financiamiento externo o si se utiliza una modalidad de financiamiento diferente, tal y como lo establece Kalecki (1956).

Desarrollando el concepto de riesgo creciente, Minsky (1975) lo define como el principio de inestabilidad financiera. Según esta teoría, el riesgo percibido no solo se deriva del volumen de fondos, sino también de las expectativas en fases de expansión económica. Es importante aclarar que la inestabilidad financiera no se debe solo al riesgo asumido por el inversor, sino también a los movimientos en los precios de la demanda de la deuda. Esto lleva a asumir mayores riesgos debido a la inestabilidad del ciclo económico, generando una paradoja de constante tranquilidad, ya que los períodos de estabilidad terminan siendo desestabilizantes (Toporowski, 2005).

Otro aspecto relevante en el ámbito de la inversión es que las decisiones tomadas en un período específico, influenciadas por diversos factores operativos en ese mismo período, suelen estar seguidas por una parte rezagada o realizada de la inversión proveniente de periodos anteriores (Cárdenas del Rey, 2018). Este rezago se debe al tiempo necesario para llevar a cabo nuevas inversiones, el cual implica procesos prolongados de planificación, construcción, entrega e instalación. Asimismo, este rezago puede estar influenciado por factores como las reacciones demoradas por parte de los empresarios (Kalecki, 1956; Azcurra, 2008; Jiménez, Jiménez, Briseño y Barquera, 2021; Saludjian, 2008; Duque, 2022).

Es correcto afirmar que la dinámica de la inversión está condicionada por diversos factores, como la disponibilidad de capital en forma de ahorro por parte de los empresarios y el crecimiento de los beneficios (Cárdenas del Rey, 2018). No obstante, es importante destacar que la inversión puede estar limitada por la cantidad de capital existente, lo que puede dar lugar a ciclos endógenos en lugar de procesos lineales y estables. Además, es relevante considerar el rezago entre la curva de tiempo de las decisiones de inversión por unidad de tiempo y la curva de tiempo de la inversión en capital fijo, tal como lo plantea Kalecki (1956, p. 97).

En su teoría, Kalecki (1956) sostiene que el ahorro en la economía se corresponde con el excedente de exportación y el déficit presupuestario. Según Asimakopulos (1983) y Sawyer (1985), los beneficios se definen como la diferencia entre la inversión y el ahorro de los hogares. Dado que existe una relación circular entre la inversión y los beneficios, la inversión solo generará beneficios a través de la expansión de la demanda agregada, siempre y cuando no haya subutilización de la capacidad productiva. Además, este proceso depende del grado de monopolio de la empresa, que puede afectar la capacidad de la inversión para generar beneficios (López & Malagamba, 2016).

Es cierto que tanto Keynes (1936) como Kalecki (1956) sostienen que las decisiones de inversión están influenciadas por las expectativas de los inversores en relación con el aumento de los beneficios y la producción, en lugar de basarse únicamente en el beneficio a largo plazo. Por lo tanto, las expectativas de los inversores sobre las ganancias futuras desempeñan un papel determinante en las decisiones de inversión (Rojas, Parra y Gutierrez, 2020; Delgado, 2019).

La teoría de las expectativas de inversión, desarrollada por Keynes (1936), sostiene que los "espíritus animales" influyen en la toma de decisiones irracionales sobre las expectativas de beneficios futuros de la inversión de capital. Según esta teoría, los individuos tienden a basar sus

expectativas en experiencias pasadas, lo que puede llevar a decisiones equivocadas. Si bien Kalecki no negó que los factores psicológicos influyen en la inversión y mencionó la "crisis de la confianza" en varias de sus obras, otorgó mayor peso a las condiciones objetivas en la toma de decisiones de inversión (Lopez & Mott, 1999).

Kalecki (1956) aborda las expectativas desde la perspectiva de los beneficios generados por la inversión en relación con el riesgo que implica (Cárdenas del Rey, 2018). Según su teoría, los empresarios deben evaluar el riesgo asociado al apalancamiento para poder estimar las expectativas de ganancia (Santarcángelo y Fal, 2008).

La función de inversión, según Kalecki (1956), considerando un retardo de un periodo entre la decisión y la materialización de la inversión, se expresa de la siguiente manera:

$$D = I_{t-1} = aS + b \frac{\Delta P}{\Delta t} - c \frac{\Delta K}{\Delta t} + d \quad (1)$$

Donde:

D = Demanda de inversión.

I_{t-1} = Nivel de inversión en periodo anterior.

S = Ahorro empresarial.

$\frac{\Delta P}{\Delta t}$ = Tasa de crecimiento de los beneficios empresariales.

$\frac{\Delta K}{\Delta t}$ = Tasa de crecimiento del stock de capital.

a, b, c, d = Parámetros.

Además, la ecuación se puede expresar de la siguiente manera:

$$I_{t-1} = f(S_t, \Delta P_t, \Delta K_t, d); \frac{\partial I}{\partial S} > 0; \frac{\partial I}{\partial P} > 0; \frac{\partial I}{\partial d} > 0; \frac{\partial I}{\partial K} < 0 \quad (2)$$

Donde:

I_{t-1} = Nivel de inversión en el periodo anterior.

S_t = Ahorro empresarial en el periodo actual.

ΔP_t = Tasa de crecimiento de los beneficios empresariales en el periodo actual.

ΔK_t = Tasa de crecimiento del stock de capital en el periodo actual.

d = Parámetro.

$\frac{\partial I}{\partial S}, \frac{\partial I}{\partial P}, \frac{\partial I}{\partial d}, \frac{\partial I}{\partial K}$ = Derivadas parciales de la función de inversión.

En la Ecuación 1 de inversión propuesta por Kalecki (1956), se incluyen cuatro variables explicativas: el ahorro (S), los beneficios (P), el stock de capital (K) y un elemento a largo plazo (d) (Cárdenas del Rey, 2018; Medici, 2008; Jiménez, Jiménez, Briseño y Barquera, 2021). Según esta ecuación, el ahorro tiene un papel importante en la determinación de la inversión, ya que el ahorro acumulado en períodos anteriores representa una inercia que influye en las decisiones de inversión actuales (Feiwel, 1981). Además, el ahorro puede interpretarse como un límite financiero, ya que un incremento en el ahorro interno de las empresas les permite obtener un mayor acceso a financiamiento en los mercados de capitales (Cárdenas del Rey, 2018). Sin embargo, es importante tener en cuenta que las restricciones impuestas por el mercado de capitales pueden afectar el acceso al crédito, lo que puede limitar la disponibilidad de financiamiento externo para la inversión. En este sentido, los ahorros generados a partir de las ganancias se convierten en la principal fuente de financiamiento para la inversión (Sánchez, 2015).

Una interpretación cercana a la teoría de la inversión basada en la financiación del stock pasado es la presentada por Robinson (1965), como se menciona en Cárdenas del Rey (2018). Según esta teoría, la emulación y la competencia entre empresas desempeñan un papel fundamental en la determinación de la inversión. Cuando una empresa realiza una inversión significativa en un período anterior, su impacto en la inversión presente es mayor, ya que otras

empresas tienden a imitar y evitar quedarse rezagadas. Esta competencia entre capitalistas promueve cambios técnicos en la industria, impulsados por la influencia de la innovación. Como resultado, se observa una mayor concentración de capital, un aumento en el grado de monopolio y, en última instancia, se incrementa el margen de beneficio potencial, como se destaca en Dubois (2004).

La evolución de la inversión como ciclo de negocios está influenciada por diversos factores que pueden afectar su desempeño (Delgado, 2019). Uno de estos factores son los incentivos empresariales, los cuales pueden generar un ciclo de negocios que impacta la inversión. Según Cárdenas del Rey (2018), cuando los empresarios tienen expectativas favorables sobre la producción, tienden a aumentar la inversión y el endeudamiento. Sin embargo, si estas expectativas disminuyen o se vuelven más inciertas, puede haber un punto límite en la inversión, lo que a su vez puede desencadenar un período de recesión.

Por otro lado, si los empresarios logran disminuir su endeudamiento gracias a ganancias a largo plazo, tendrán la posibilidad de obtener apalancamiento financiero y así abrir nuevas oportunidades de inversión, lo que puede impulsar un período de crecimiento empresarial.

A diferencia del ciclo económico clásico descrito por Keynes (1936), el ciclo de inversión no depende exclusivamente del entorno político y económico y de la respuesta de los "espíritus animales". En cambio, está determinado por factores netamente internos. La endogeneidad del ciclo de inversión se debe principalmente a que, como señaló Kalecki (1939), la tasa de decisión de invertir está determinada por dos factores clave: el nivel de ganancias y el stock de equipo de capital. Los empresarios solo invertirán si la variación de los beneficios es mayor al capital utilizado y si tienen la capacidad y los recursos necesarios para hacerlo.

Además, los empresarios también consideran la fuente de financiamiento de la inversión, lo que hace menos probable que inviertan si dependen de capital externo.

En este sentido, se puede afirmar que el ciclo de inversión kaleckiano es el resultado de la interacción entre factores internos y no es simplemente una respuesta pasiva a las condiciones del entorno económico. Aunque los factores externos, como las condiciones económicas y el ambiente político, influyen en la decisión de inversión (por ejemplo, la falta de confianza del empresario en la situación política puede llevar a una negativa a invertir), son la capacidad y los recursos internos los que realmente determinan la tasa de acumulación.

Como señaló Kalecki (1943), el inversor sigue siendo el canal de ejecución de la inversión y es la fuente de los ciclos económicos. Esto se debe a la paradoja del sistema capitalista, donde la inversión como flujo no es más que la fuente de las ganancias del capital (Moreno, 2018).

La duración del ciclo de inversión dependerá del estímulo que reciba, es decir, cuanto mayor sea la posibilidad de invertir, mayor será la estimulación para financiar la expansión. Si esto va acompañado de apalancamiento financiero, se afectará la capacidad instalada, generando mayores capacidades productivas. Sin embargo, las recesiones también se prolongarán por el mismo motivo, ya que el apalancamiento restringe fuertemente las posibilidades de inversión, lo que se traduce en una reducción de la inversión a largo plazo (Cárdenas del Rey, 2018). Además, dado que la inversión depende del grado de monopolio y de la capacidad instalada, el inversor no invertirá de manera inmediata ante la recuperación de los beneficios y el pago del financiamiento externo, sino que ajustará sus expectativas de producción en función de la capacidad ociosa disponible.

Lo mencionado anteriormente se conoce como la paradoja de la deuda (Steindl, 1952), la cual limita el apalancamiento de las empresas. Durante las fases de expansión, el riesgo de invertir con recursos propios es elevado, lo que lleva a que los inversores reduzcan la inversión para amortizar la deuda o aumenten la producción para obtener beneficios que incrementen su capital propio y, por tanto, disminuyan el nivel de apalancamiento. Esta dinámica refleja la interacción compleja entre la deuda, la inversión y la acumulación de capital en el ciclo de inversión kaleckiano.

Esta afirmación presenta una falacia en su composición. Según Cárdenas del Rey (2018), esto solo es aplicable para una empresa individual, ya que, si un gran número de empresas líderes efectúan este proceso, la reducción de la demanda puede generar una caída de los ingresos y beneficios propios del capital, lo que disminuye el límite financiero y aumenta el riesgo y apalancamiento. Esta dinámica puede resultar en ciclos de negocios recesivos o con estancamiento.

Aunque se reconoce que la distribución del ingreso desempeña un papel crucial en la estructura del componente de inversión (Kalecki, 1956), es importante señalar que, debido a la naturaleza pasiva del consumo y al equilibrio entre el sector público y externo, la distribución del ingreso tiende a seguir el movimiento del ciclo de negocios (López, 2020). En consecuencia, la distribución del ingreso no se considera una variable determinante en la inversión, ya que esta última está más influenciada por factores intrínsecos a la propia inversión.

Kalecki (1956, págs. 160-164) sostiene que la innovación desencadena un impacto positivo en la inversión al abrir nuevas oportunidades (Cárdenas del Rey, 2018). No obstante, también subraya que la efectividad de la innovación muestra un rendimiento decreciente con el tiempo. Por otro lado, los rentistas ejercen un efecto perjudicial en el límite financiero de la

inversión al reducir el ahorro interno de las empresas, lo que aumenta el riesgo asociado a la inversión (Cárdenas del Rey, 2018). Además, la falta de inclusión de equipos más productivos contribuye a la depreciación de la tasa de ganancia.

Es importante considerar que los beneficios derivados del equipo antiguo se transfieren al nuevo equipo, lo que favorece la tendencia de acumulación a largo plazo. Sin embargo, esta transferencia de beneficios solo tendrá un impacto significativo en la tasa de acumulación si las capacidades productivas ociosas del equipo antiguo llegan a su máximo de utilización. Si se da prioridad a la realización de inversiones nuevas antes de aprovechar plenamente las capacidades ociosas del equipo antiguo, la transferencia de producción no modificará la tasa de acumulación derivada de la innovación y la productividad del trabajo (Cárdenas del Rey, 2018); (López, 1999).

1.2 Las Principales Críticas A La Teoría Del Acelerador Flexible O Neoclásico

La primera versión del acelerador neoclásico se basa en la teoría de Mitchell y Clark, una teoría interpretativa de la inversión desde la perspectiva de la demanda. Esta teoría ha sido ampliamente utilizada en la mayoría de las interpretaciones del ciclo económico a lo largo del siglo XX (Cárdenas del Rey, 2018).

La perspectiva central corresponde al supuesto de que las empresas ampliarán o reducirán su capacidad productiva en función de la producción esperada (Baghestani & Mott, 2014). Este supuesto se representa en la siguiente función:

$$\frac{I_t}{K_{t-1}} = Y + \beta_i Y_{t-1} \quad (3)$$

Donde:

I_t = Inversión en el periodo actual.

K_{t-1} = Stock de capital existente al final del periodo anterior.

Y = La producción actual.

β_i = Coeficiente de sensibilidad de la inversión respecto a la producción pasada.

Y_{t-1} = Producción pasada en el periodo anterior.

La función establece una relación entre la inversión actual, la producción actual y la producción pasada. Indica cómo la inversión de las empresas se ajusta en base a la producción esperada y la producción pasada, siendo el coeficiente el factor que determina la sensibilidad de la inversión ante cambios en la producción pasada.

Una versión clásica mejorada con la incorporación de retardos en el principio del acelerador flexible, mencionada en el artículo de Caicedo y Nalvarte (2016), es propuesta por Chenery (1952), quien sostiene la existencia de un nivel óptimo de capital. Desde esta perspectiva, la inversión se concibe como un proceso de ajuste en el cual las empresas buscan reducir gradualmente las disparidades entre el nivel deseado de capital y el nivel instalado en cada período. Esta concepción implica que las decisiones de inversión son guiadas por el objetivo de lograr un equilibrio entre la capacidad productiva deseada y la capacidad existente (Otero, 1998; Amico, 2009; Vargas, 2003).

El modelo del acelerador flexible asigna un papel central al volumen esperado de producción entre todas las variables. Sin embargo, este enfoque no considera aspectos financieros, lo que implica que la inversión solo está determinada por cambios en variables reales que afectan el nivel óptimo de capital en cada momento. Una característica compartida por todos los modelos del acelerador neoclásico es la identificación de un nivel óptimo de capital, pero no logran proporcionar una tasa de inversión que alcance de manera óptima dicho nivel (López, 1995).

Aquí es donde radica otra diferencia con la perspectiva de Kalecki, quien sostiene que las variables financieras sí influyen en la inversión, particularmente a través de factores como el interés a largo plazo representado por el apalancamiento financiero.

En primera instancia, se argumenta que la versión tradicional del acelerador neoclásico no es capaz de explicar las variaciones en la capacidad instalada, debido a que esta variable presenta una volatilidad relativamente baja. Por lo tanto, las empresas no se ven obligadas a realizar inversiones en función de la demanda a corto plazo, ya que operan por debajo de su capacidad máxima. Esta subutilización de la capacidad existente es suficiente para satisfacer la demanda en el corto plazo (Kalecki, 1956, p. 101).

El enfoque anterior parte de un supuesto simplificado sobre el comportamiento de las empresas y los mercados, al asumir que las empresas ajustan su nivel de inversión exclusivamente en respuesta a cambios en la demanda y que los mercados operan de manera eficiente y en plena capacidad. Sin embargo, esta simplificación no refleja la complejidad y diversidad del comportamiento empresarial ni las posibles limitaciones de los mercados.

En segundo lugar, si consideramos que la inversión lidera el ciclo económico y determina la demanda, resulta poco razonable suponer que la inversión está directamente determinada por la demanda misma. Este supuesto solo se manifiesta en el largo plazo, es decir, cuando las empresas toman decisiones de inversión en respuesta al incremento de la demanda. Además, dado que la inversión no se materializa de manera inmediata, implica que solo en el largo plazo se podría satisfacer dicha demanda. Sin embargo, en la realidad, las empresas, en su afán de competir y captar la demanda, requieren adaptaciones y estrategias rápidas. Esto contradice la idea de esperar hasta que la acumulación de capital se complete para atender la demanda a corto plazo (Cárdenas del Rey, 2018).

La crítica de Kalecki se centra en la versión específica del acelerador flexible, sin cuestionar el concepto general de que la demanda total influye en la inversión. Según Chirinko (1993), la formulación más conocida, propuesta por Jorgenson (1963), establece que la productividad marginal del capital es igual al costo de uso del capital, y que el nivel óptimo de capital depende de los precios de venta y el costo de uso. La teoría del acelerador se diferencia por asumir una elasticidad de sustitución entre capital y costos igual a cero, lo que implica una tecnología constante. Bajo esta premisa, al derivar el costo de uso de la producción total, se obtiene la formulación del acelerador flexible. Si además se omiten los rezagos, se obtiene la versión más simplificada de esta teoría.

En la teoría del acelerador flexible, se concibe la inversión como un proceso de optimización en el que el ahorro juega un papel determinante en su carácter intertemporal. El volumen de ahorro está determinado por la tasa que maximiza la utilidad a lo largo del tiempo. En este contexto, las tasas de interés desempeñan un papel crucial al garantizar el equilibrio del mercado, siendo el tipo de interés considerado como el rendimiento esperado en una situación de competencia perfecta.

Este enfoque demuestra que, incluso dentro de este paradigma, la ley de Say se mantiene vigente, con una sustitución completa de factores y una prevalencia de los mecanismos de equilibrio de los mercados (Cárdenas del Rey, 2018). Sin embargo, estudios como el realizado por Guaita (2011) sugieren una causalidad en sentido inverso de la ley de Say, es decir, que la oferta se adapta a través del acelerador flexible a las fluctuaciones de la demanda.

Kalecki cuestiona precisamente esta idea, ya que, al abandonar la suposición de una sustitución perfecta entre factores, no se puede explicar de manera unidireccional la relación entre la demanda y la inversión. En su obra "Teoría de la inversión de los negocios" (Kalecki, 1956, p.

109), desafía esta visión limitada al incorporar la función de inversión total junto con la variación de existencias. Aunque puede no ser la forma más adecuada de explicar el comportamiento de la inversión, se convierte en el principal y único elemento explicativo en la teoría de la inversión. De esta manera, la función de inversión total adopta la siguiente forma:

$$I_{t+\theta} = \frac{a}{1+c}S + b \frac{\Delta P}{\Delta t} + e \frac{\Delta O}{\Delta t} + d \quad (4)$$

Donde:

$I_{t+\theta}$ = Inversión en el periodo $t + \theta$.

$\frac{a}{1+c}S$ = Propensión marginal a ahorrar dividida por propensión a consumir más uno.

$b \frac{\Delta P}{\Delta t}$ = Variación en los precios respecto al tiempo.

$e \frac{\Delta O}{\Delta t}$ = Variación de la producción respecto al tiempo.

d = Factor adicional que puede influir en la inversión.

$$I_{t-1} = f(S_t, \Delta P_t, \Delta K_t, d); \frac{\partial I}{\partial S} > 0; \frac{\partial I}{\partial P} > 0; \frac{\partial I}{\partial d} > 0; \frac{\partial I}{\partial K} < 0 \quad (2)$$

Como se puede observar, la Ecuación 2 es prácticamente idéntica a la anterior, con la adición de la tasa de variación del volumen de producción. Se mantienen las relaciones positivas con respecto al ahorro empresarial, el incremento de beneficios y el efecto a largo plazo, mientras que la relación es negativa con el crecimiento del stock de capital (Cárdenas del Rey, 2018).

En su trabajo, Kalecki (1956) propone una perspectiva alternativa para incorporar la aceleración a la teoría de la inversión. Esta perspectiva considera el grado de utilización o capacidad instalada, especialmente en entornos de mercado monopólico. Según esta visión, las decisiones de inversión de las empresas son influenciadas por la competencia y las expectativas de producción, y están condicionadas por el margen de capacidad disponible en relación con el

stock de capital existente. En este sentido, el nivel de utilización de la capacidad instalada se convierte en un factor clave que determina la inversión. Los inversores kaleckianos se centran en evaluar el grado de utilización de la capacidad productiva y extrapolan la tasa actual de beneficio hacia el futuro (Nutí, 2011).

Por otro lado, la crítica planteada por Kalecki se basa en la premisa de que la teoría del acelerador neoclásico trata a todas las empresas de manera homogénea en términos de su comportamiento de inversión. Sin embargo, según Kalecki, existen diferencias significativas entre las empresas, no solo en cuanto a su nivel de producción, sino también en términos de su capacidad financiera, acceso al apalancamiento financiero y tolerancia al riesgo.

Estas diferencias entre las empresas pueden tener un impacto sustancial en sus decisiones de inversión. Por ejemplo, una empresa con una sólida capacidad financiera y acceso al apalancamiento financiero puede estar más dispuesta a realizar inversiones significativas, incluso en momentos de incertidumbre económica. Por otro lado, una empresa con limitaciones financieras y una menor capacidad para asumir riesgos puede ser más cautelosa en sus decisiones de inversión.

Por último, otra crítica planteada por Kalecki se refiere a la falta de consideración adecuada de la incertidumbre en la teoría del acelerador flexible. Según esta teoría, que se basa en la premisa de un sistema automático de equilibrios y en la demanda total como el factor determinante de la inversión, los empresarios no necesitarían anticipar el futuro ni tomar decisiones basadas en el creciente riesgo o en la tasa de ganancia. En lugar de ello, se supone que se alcanza una tasa de ganancia natural en un sistema de mercado de competencia perfecta.

1.3 Las Principales Críticas A La Teoría De La Eficiencia Marginal De Capital

La teoría de la inversión de Keynes, expuesta en su obra "Teoría general de la ocupación, el interés y el dinero", se basa en el concepto de la eficiencia marginal del capital. Dicho concepto se refiere a la relación entre el rendimiento esperado de un bien de capital y su precio de oferta o reposición. En términos simples, representa el rendimiento adicional que se espera obtener de una unidad adicional de capital en comparación con el costo de producirla (Keynes, 1936, p. 133).

Según esta teoría, la decisión de invertir se basa en los rendimientos esperados y la relación entre la tasa de interés del mercado y dichos rendimientos. Si la tasa de interés es mayor que los rendimientos esperados, la inversión disminuirá. Esta idea guarda relación con la teoría de "Q" de Tobin, que sostiene que la inversión se ve influenciada por la relación entre el valor financiero de una empresa y el costo de adquirir capital (Cárdenas del Rey, 2018). Cuando esta relación es inferior a uno, la empresa reduce su stock de capital, mientras que, si es superior a uno, aumenta su inversión en capital, dado que los ingresos adicionales superan el costo de adquirir capital adicional (Cárdenas del Rey, 2018).

Minsky y Asimakopulos, entre otros autores, resaltan la importancia de la demanda efectiva, las finanzas y las expectativas en la determinación de la eficiencia marginal de capital y, por consiguiente, en las decisiones de inversión. Estos estudios enfatizan cómo las condiciones financieras y las expectativas sobre el futuro pueden influir en la propensión de las empresas a invertir. Argumentan que factores como la disponibilidad de crédito, la confianza empresarial y las expectativas de demanda desempeñan un papel crucial en la determinación de la inversión y pueden tener un impacto significativo en la eficiencia marginal de capital (Minsky, 1975; Asimakopulos, 1991).

Keynes postulaba que el nivel de inversión se determina en el punto de intersección entre la eficiencia marginal de capital y la tasa de interés. Sin embargo, Kalecki (1983) cuestiona este enfoque al argumentar que se basa en un modelo estático que no captura la naturaleza dinámica de la inversión. Según Kalecki, no debería existir automáticamente un equilibrio entre la eficiencia marginal de capital y el interés, ya que las decisiones de inversión se toman en situaciones de desequilibrio. Cuando la eficiencia marginal de capital supera la tasa de interés, la nueva inversión impulsa el crecimiento del producto y los precios, lo que a su vez aumenta el costo del capital y reduce la eficiencia marginal de capital hasta alcanzar un nuevo punto de equilibrio. Por lo tanto, para reactivar el ciclo económico, es necesario generar expectativas favorables que eleven la eficiencia marginal de capital por encima de la tasa de interés, lo que a su vez estimula el proceso de inversión a través del multiplicador (Cárdenas del Rey, 2018).

Se consideraba que este concepto de equilibrio era insatisfactorio para comprender la dinámica de la inversión, ya que las empresas, basadas en su poder de mercado, podían mantener niveles elevados de inversión incluso cuando la eficiencia marginal de capital era baja (Cárdenas del Rey, 2018). Esto se debía a la capacidad de los empresarios para ejercer control sobre los precios y obtener beneficios monopolísticos.

Crotty (1992) sostiene que la incertidumbre fundamental sobre el futuro socava los procesos de optimización temporal hacia el punto de equilibrio, lo que se conoce como el "principio de no ergodicidad". En consecuencia, aunque la visión keynesiana incorpora la incertidumbre en su teoría de la inversión, se aplica de manera limitada en la eficiencia marginal de capital, ya que los agentes económicos, definidos socialmente y con fundamentos institucionales, tienen una comprensión limitada del futuro (Cárdenas del Rey, 2018).

Keynes sostenía que la eficiencia marginal de capital estaba determinada por las expectativas psicológicas a corto y largo plazo de los agentes económicos. Los inversionistas se basaban en estas expectativas para estimar el rendimiento probable de la producción y del equipo (Plata, 2011); (Rísquez, 2006); (Kicillof & Freud, 2004); (Campbell & Barraza, 2015).

Desde una perspectiva más objetiva, las expectativas planteadas por Keynes encuentran cierta coherencia. De acuerdo con Crotty (1992), la presencia de incertidumbre descarta la posibilidad de procesos de optimización y equilibrio. Keynes argumenta que los individuos basan sus expectativas de inversión en lo ocurrido en el pasado, a pesar de ser conscientes de que el pasado no será necesariamente similar al futuro. Además, la expectativa de consumo futuro se basa en gran medida en el consumo presente, y una reducción en el consumo actual afecta tanto al consumo como a la eficiencia marginal del capital y al gasto en inversión (Moreno S., 2006). En consecuencia, la teoría de la eficiencia marginal del capital no logra capturar de manera precisa los desequilibrios entre las expectativas de inversión.

2. Metodología

2.1 Modelo De Redes Neuronales Con Perceptrón Multicapa

2.1.1 Especificación De Los Datos

El modelo de redes neuronales con perceptrón multicapa utiliza datos de series temporales mensuales que abarcan un total de 82 observaciones desde el año 2016 hasta 2022. A continuación, se presenta un resumen de las variables a utilizar, junto con su descripción y la fuente estadística de donde se obtuvieron los datos:

Tabla 1

Especificación de las variables en el modelo y obtención de los datos

Variable	Descripción	Fuente y obtención de datos
Inversión ($I t$), formación bruta de capital fijo (FBKF).	"La Formación Bruta de Capital Fijo (FBKF) se refiere al valor de mercado de los bienes duraderos que las unidades productivas residentes en el país adquieren y destinan al proceso productivo. Esto incluye diversos activos, como maquinaria, equipos de producción, edificios, construcciones, equipos de transporte, entre otros"	Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). El DANE registra los datos trimestralmente a precios corrientes y se deflactan utilizando como base el año 2015, aplicando el índice de deflación publicado por el DANE. Para obtener datos mensuales, se utiliza la técnica de interpolación cúbica.

	(DANE, Formación bruta de capital fijo (FBKF), 2018) (Laureano, 2015).	
Capacidad instalada ($CI t$).	"Hace referencia al porcentaje de la capacidad instalada de un sector industrial que se encuentra en uso" (Mundaca, Saldarriaga y Virreira, 2019).	Fundación para la Educación Superior y el Desarrollo (FEDESARROLLO). Los datos de FEDESARROLLO se registran trimestralmente a través de la Encuesta de Opinión Empresarial. Para obtener datos mensuales, se utiliza la misma metodología que se aplica para la variable ($I t$).
Expectativas de producción, ($EP t$), Índice de Confianza Industrial (ICI).	"Son los resultados de la percepción de los empresarios acerca de las expectativas de producción de los próximos tres meses" (FEDESARROLLO, 2015).	Fundación para la Educación Superior y el Desarrollo (FEDESARROLLO). Los datos de FEDESARROLLO se registran mensualmente como uno de los

		componentes del Índice de Confianza Industrial.
Ingreso ($Y t$), producto interno bruto real (PIB).	"Representa el resultado final de la actividad productiva de las unidades de producción residentes. Se mide desde el punto de vista del valor agregado, de la demanda o las utilizaciones finales de los bienes y servicios y de los ingresos primarios distribuidos por las unidades de producción residentes" (DANE, 2018, Preguntas frecuentes).	Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). Los datos del DANE se registran trimestralmente a precios constantes. La obtención de los datos mensuales se realiza utilizando la misma metodología que la variable ($I t$).
Apalancamiento financiero ($AF t$), Préstamo neto financiero (PNF).	"La adquisición neta de activos financieros menos la emisión neta de pasivos" (BANREP, 2018, Cuentas financieras).	Banco de la República (BANREP). Los datos del BANREP se registran en saldos como una cuenta trimestral consolidada. La obtención de los datos mensuales se realiza

		utilizando la misma metodología que la variable $(I t)$.
Tasa de ganancia ($TG t$), excedente bruto de explotación (EBE).	"Es una medida de rendimiento derivado de los procesos de producción, que resulta de restar al valor agregado los costos de remuneraciones, los otros impuestos a la producción y agregarle las subvenciones ligadas a la producción" (SEN, 2023).	Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). El DANE registra los datos trimestralmente a precios corrientes y se deflactan utilizando como base el año 2015, aplicando el índice de deflación publicado por el DANE. La obtención de los datos mensuales se realiza utilizando la misma metodología que la variable $(I t)$.

La mayoría de las variables estadísticas utilizadas en el modelo son series trimestrales. Para poder trabajar con una frecuencia mensual, se aplicaron métodos estadísticos, como la interpolación cúbica, para obtener series mensuales. No obstante, este proceso ocasionó la pérdida de dos observaciones, reduciendo el total de observaciones de 84 a 82.

La interpolación es un método utilizado para estimar valores intermedios entre los puntos o nodos de una serie de datos (Chapra & Canale, 2011). La interpolación cúbica, en particular, es una técnica empleada para estimar valores intermedios entre puntos desconocidos en una serie de tiempo. Se basa en ajustar una función cúbica suave que atraviesa los diferentes puntos disponibles. Esta función cúbica permite predecir los valores de la variable en puntos que no se observan directamente en los datos, lo que proporciona una aproximación más precisa y suave de la relación subyacente entre las variables.

2.2 Especificación del Modelo de Redes Neuronales con Perceptrón Multicapa

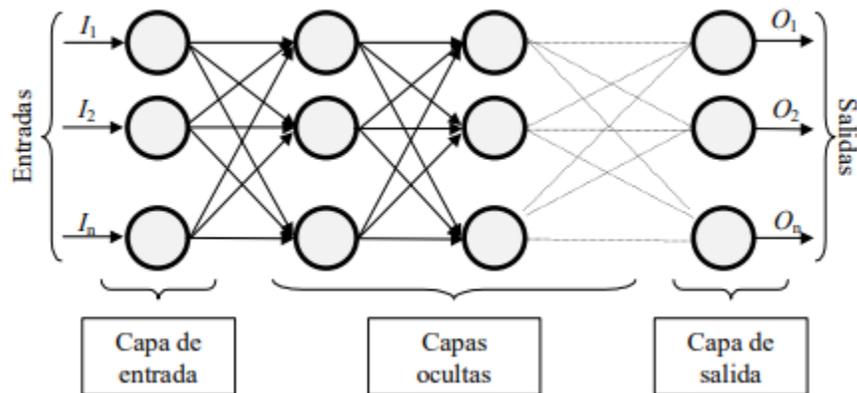
Las redes neuronales artificiales son una disciplina de la inteligencia artificial que se fundamenta en la simulación de la estructura y el funcionamiento del cerebro humano (González, s.f.; Cárdenas, 2021; AWS, s.f.). Consisten en sistemas compuestos por nodos interconectados que reciben, procesan y generan información de salida. Esta arquitectura posibilita que el sistema aprenda y se adapte a diversos tipos de entradas (Huet, 2023).

En la actualidad, existe una amplia variedad de redes neuronales que se distinguen por su arquitectura y método de aprendizaje (Matich, 2001; Vasilev, 2012; González, s.f.; Villa, Marica, Flores, & Huayhua, 2021). Una de las más populares es la red neuronal basada en capas de neuronas tipo perceptrón, la cual se entrena mediante la técnica de retro propagación. En este enfoque, las conexiones de la red se establecen de forma aleatoria al principio y, a medida que avanza el proceso de entrenamiento, se ajustan gradualmente en función de los datos suministrados. El objetivo fundamental es lograr que la red pueda reconocer y clasificar los datos con precisión, de acuerdo con su entrenamiento. El proceso de entrenamiento concluye cuando la red alcanza su máximo rendimiento en términos de aciertos y ya no mejora su desempeño con iteraciones adicionales (Bajo & Ballesteros, 2002).

Las redes neuronales se organizan en capas, donde las unidades del proceso de transmisión de información se distribuyen (González, s.f.; Cárdenas, 2021). Por lo general, estas estructuras constan de tres partes: la capa de entrada, con unidades de campos de entrada; una o varias capas ocultas; y la capa de salida, que contiene una o más unidades representando el campo de destino (Cárdenas, 2021; Vasilev, 2012; Villa, Marica, Flores, & Huayhua, 2021; UNIDA, s.f.). Esta organización se puede observar visualmente en la Figura 1. Los datos de entrada se presentan en la primera capa y se propagan a través de las neuronas hacia la capa siguiente, hasta llegar a la capa de salida, donde se obtienen los resultados finales (Cárdenas, 2021; Matich, 2001; Vasilev, 2012; González, s.f.; Villa, Marica, Flores, & Huayhua, 2021; UNIDA, s.f.). Cada capa procesa y transmite la información mediante conexiones entre las unidades, permitiendo que la red neuronal realice cálculos y tome decisiones basadas en los datos de entrada (IBM, s.f.; AWS, s.f.).

Figura 1

Elementos que componen una red neuronal



Nota. Adaptada de Desarrollo de un sistema inteligente para la clasificación de documentos ya digitalizados aplicando redes neuronales supervisadas (p.10), por Jimenez, D., Paz-Arias, H., & Larco-Ab, A, 2015, Revista Tecnológica ESPOL – RTE, 28(1), 8-23.

En la arquitectura de las redes neuronales, otro elemento clave son las funciones de activación (Vasilev, 2012). Cada neurona de la red utiliza una función de activación para calcular su salida en base a la entrada recibida (Cárdenas, 2021; Matich, 2001). Estas funciones pueden ser lineales o no lineales (Huet, 2023), y se seleccionan según las características de los datos esperados y la capacidad de aprendizaje de la red. Es importante destacar que cada capa de la red ya sea la de entrada, las capas ocultas o la de salida, puede tener su propia función de activación. Esto permite que la red neuronal pueda procesar de manera adecuada y realizar transformaciones no lineales en los datos a medida que se propagan a través de la red.

2.2.1 Planteamiento De La Red Neuronal Con Perceptrón Multicapa

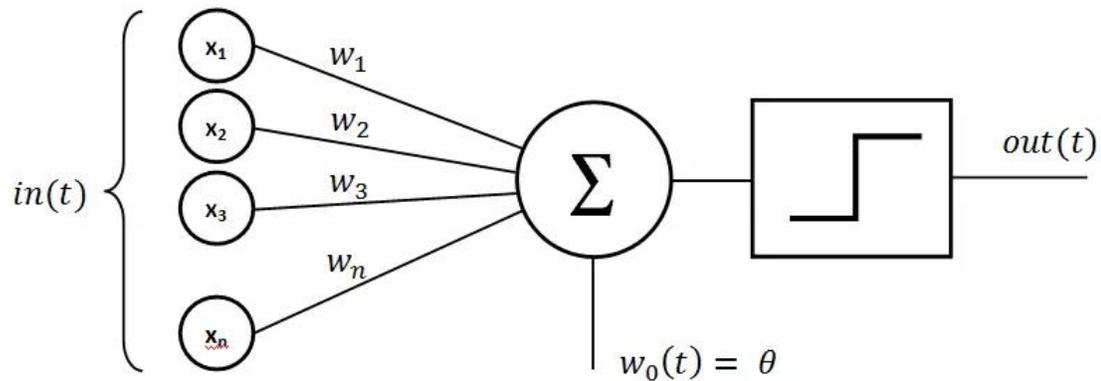
El objetivo del modelo de red neuronal con perceptrón multicapa consiste en evaluar si las variables seleccionadas en esta investigación, que se consideran determinantes de la inversión desde la perspectiva kaleckiana, ejercen un impacto en la dirección del ciclo de negocios de la economía colombiana. Con el propósito de alcanzar este objetivo, se empleará la Ecuación 5 como punto de partida para establecer las relaciones existentes entre la inversión y sus factores determinantes.

Para alcanzar el objetivo establecido, resulta esencial configurar adecuadamente los perceptrones que conforman las capas de entrada, oculta y salida en la red neuronal. Además, es fundamental incorporar las funciones de activación que serán aplicadas en cada etapa del proceso. Esta tarea implica una comprensión profunda de cómo toda la información se encuentra encapsulada en la fórmula de un perceptrón, tal como se ilustra en la Figura 2. En dicha Figura, se representa el proceso que efectúa una célula con la información de entrada, seguido por la aplicación de la función de activación correspondiente. Esto da lugar a una estructura compleja y

sucesiva en el modelo de perceptrón multicapa, donde cada célula procesa y transmite la información, contribuyendo al análisis y predicciones de la red neuronal.

Figura 2

Fórmula del perceptrón



Nota. La regla de aprendizaje del perceptrón, por Datascientest, 2022, recuperado de <https://datascientest.com/es/perceptron-que-es-y-para-que-sirve>.

2.2.1.1 Datos De Entrada Para La Red Neuronal. Para aplicar la metodología, se utilizarán las mismas variables y datos que se encuentran en la Tabla 1. Sin embargo, se trabajará con las variaciones inmediatamente anteriores de cada variable.

El enfoque consiste en utilizar las diferencias entre los valores consecutivos de las variables en lugar de sus valores originales en cada período de tiempo. Aunque esta transformación reducirá en un período la longitud total de la serie de tiempo debido a la pérdida de observaciones, permitirá capturar la información sobre cambios o tendencias en las variables.

Después de realizar las variaciones inmediatamente anteriores de las variables, se procederá a transformar cada dato en un sistema binario. En este sistema, los valores serán codificados como (1) cuando sean positivos o ascendentes, y como (0) cuando sean negativos o descendentes. Este proceso se aplicará a todas las variables utilizadas en el estudio.

La elección de transformar los datos en un sistema binario tiene sentido, dado que el objetivo principal de la red neuronal es predecir el movimiento del ciclo de negocios, que se representa mediante la variable de inversión. Al codificar las variaciones de las diferentes variables utilizadas en el estudio en un formato binario, se proporciona a la red neuronal una representación más clara y simplificada de la dirección del cambio en cada variable.

Esta transformación permite que la red neuronal se enfoque exclusivamente en las direccionalidades de los determinantes de la inversión como información de entrada. Al considerar solo el sentido del cambio (positivo o negativo) en lugar de las magnitudes exactas, se reduce la complejidad y se resalta la información esencial para la predicción del movimiento de la inversión.

2.2.1.2 El Perceptrón De La Capa De Entrada. En esta investigación, el proceso se inicia con el desarrollo del perceptrón en la capa de entrada de la red neuronal a través de una regresión lineal. Esta ecuación implica multiplicar los datos de entrada, que en este caso corresponden a las variables determinantes del ciclo de negocios desde la perspectiva de Kalecki, por los coeficientes de peso establecidos. La expresión matemática de esta ecuación se presenta a continuación:

$$I_t = W_1CI_t + W_2EP_t + W_3Y_t + W_4AF_t + W_5TG_t + b \quad (5)$$

Donde:

I_t = Inversión.

$CI_t, EP_t, Y_t, AF_t, TG_t$ = Entradas diversas de red neuronal en tiempo t.

W_n = Coeficientes de peso asociados a cada entrada respectivamente.

b = Término de sesgo.

Es crucial resaltar que, durante el entrenamiento de la red neuronal, estos coeficientes de peso se ajustan de manera aleatoria con el objetivo de alcanzar los valores óptimos que maximicen el rendimiento matemático de la red. Este proceso de ajuste es fundamental para facilitar la transmisión eficiente de información entre los distintos perceptrones y, como resultado, se logra una estimación más precisa de los datos de salida. En este caso particular, los datos de la variable de estudio, que es la inversión, son estimados con mayor precisión gracias al proceso de optimización de los coeficientes de peso en la red neuronal.

2.2.1.3 El Perceptrón De La Capa Oculta. En la segunda etapa del proceso, se procede a desarrollar el perceptrón de la capa oculta, cuya función principal es procesar la información recibida de la capa de entrada y aplicar la función de activación correspondiente. Esta acción es crucial para avanzar en el cálculo de la red neuronal.

Con el propósito de capturar el comportamiento cercano a la perspectiva de Kalecki, que describe un sistema económico sin equilibrios y con una conducta no lineal, se emplea una función de activación no lineal, específicamente la función tangente hiperbólica. Esta función está representada de la siguiente manera:

$$\tanh(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}} \quad (6)$$

Al emplear la función de activación tangente hiperbólica en la ecuación del perceptrón de la capa oculta, se obtiene la siguiente expresión:

$$H_t = \tanh(W_1 CI_t + W_2 EP_t + W_3 Y_t + W_4 AF_t + W_5 TG_t + b) \quad (7)$$

Donde:

H_t = La salida de la capa oculta en el instante del tiempo t.

$CI_t, EP_t, Y_t, AF_t, TG_t$ = Entradas diversas de red neuronal en tiempo t.

W_n = Coeficientes de peso asociados a cada entrada respectivamente.

b = Término de sesgo.

\tanh = Función de activación tangente hiperbólica, que agrega no linealidad a la red.

La elección de la función tangente hiperbólica como activación de la red neuronal para analizar la direccionalidad del ciclo de negocios de la inversión kaleckiana se basa en dos razones fundamentales. En primer lugar, al trabajar con datos que oscilan en el rango de 0 a 1, esta función permite una adecuada centralización de las entradas alrededor de cero, lo cual mejora la estabilidad del entrenamiento y evita la saturación de las salidas de las neuronas.

En segundo lugar, la tangente hiperbólica es una función no lineal que captura eficazmente relaciones complejas y no lineales presentes en los datos económicos, lo que resulta esencial para modelar patrones y ciclos económicos de manera realista. Además, su característica de ser diferenciable y simétrica ofrece ventajas significativas durante el proceso de entrenamiento, facilitando así el aprendizaje de relaciones simétricas en el análisis económico.

2.2.1.4 El Perceptrón De La Capa De Salida. Por último, la información generada por la capa oculta se transfiere a otra función de activación para obtener el resultado de salida de la red neuronal. En este contexto, se utiliza la función Softmax, que transforma un vector de valores reales en un vector de probabilidades. De esta manera, la clasificación resultará en una probabilidad en el rango de 0 a 1, lo que indicará si la inversión es ascendente o descendente en un punto específico de la serie de tiempo analizada. La función Softmax se expresa de la siguiente forma:

$$\text{Softmax}(x_i) = \frac{e^{x_i}}{\sum_{j=1}^n e^{x_j}} \quad (8)$$

Al aplicar la función de activación Softmax en la ecuación del perceptrón multicapa, se obtiene el siguiente resultado:

$$O_t = \text{softmax}(V_1 H_t + V_2 H_t + \dots + V_2 H_t) \quad (9)$$

Donde:

O_t = Salida de la capa salida en el instante del tiempo t .

V_1, V_2, \dots, V_n = Los coeficientes de peso asociados a la salida de a la capa oculta H_t .

softmax= La función de activación Softmax, que toma como entrada un vector de valores reales y produce una distribución de probabilidad en la que la suma de todas las salidas es igual a 1.

Una vez que se han calculado los valores de la capa de salida O_t , se procede a analizar el rendimiento de la red neuronal para predecir la dirección del ciclo de negocios en relación con la variable de inversión. Esto se logra comparando los datos reales con las estimaciones obtenidas a través de esta metodología.

En este contexto, la red neuronal es capaz de proporcionar una salida en forma de distribución de probabilidad que refleja la probabilidad de pertenecer a cada clase de dirección del ciclo económico (por ejemplo, "ascendente" o "descendente"). La clase con la probabilidad más alta se considerará la predicción final de la red neuronal para el punto de tiempo t , lo que permitirá evaluar la precisión del modelo en función de los datos reales observados.

2.2.2 Análisis De Los Resultados De La Red Neuronal Con Perceptrón Multicapa Para La Determinación De La Direccionalidad Del Ciclo De Negocios Kaleckiano

En la aplicación de una red neuronal, resulta crucial llevar a cabo una partición del conjunto de datos. En este caso, se han generado 2 particiones: una para la muestra de entrenamiento y otra para la muestra de prueba. La primera partición contiene los registros de datos empleados para entrenar la red neuronal, mientras que la segunda es un conjunto de datos independiente que se utiliza para monitorear los errores durante el entrenamiento, con el objetivo de evitar el sobre entrenamiento (IBM, 2022).

Es importante destacar que el tamaño de la muestra de prueba debe ser más pequeño que la muestra de entrenamiento (IBM, 2022). Esto se debe a que el conjunto de entrenamiento es el que alimenta y ajusta los parámetros de la red neuronal, mientras que la muestra de prueba solo se utiliza para evaluar su desempeño. Una muestra de prueba más pequeña permite que la red se enfoque en aprender patrones generales y evita que se adapte en exceso a particularidades o ruido presente en los datos de entrenamiento.

Para esta investigación, se optó por una partición de entrenamiento del 78,8% y una partición de pruebas del 21,3%, lo que representa un total de 63 observaciones para la primera partición y 17 observaciones para la segunda partición. En total, se utilizaron 80 observaciones como datos de entrada para la red neuronal con perceptrón multicapa. Sin embargo, se excluyó una observación debido al criterio de porcentaje establecido para las particiones.

Es relevante señalar que la metodología fue desarrollada utilizando el software estadístico Statistical Package for the Social Sciences (SPSS), que determinó la mejor partición basándose en el total de observaciones (véase Tabla 2).

Tabla 2

Resumen del procesamiento de casos

		N	Porcentaje
Muestra	Entrenamiento	63	78,8%
	Pruebas	17	21,3%
Válido		80	100,0%
Excluido		1	
Total		81	

En la arquitectura de redes neuronales con perceptrón multicapa, se dispone de la Tabla 3 que ofrece una descripción detallada de su configuración. Esta arquitectura se compone de una capa de entrada, capas ocultas y una capa de salida.

La capa de entrada está compuesta por 5 factores que representan los determinantes de la inversión kaleckiana. En total, consta de 10 unidades o neuronas, excluyendo el factor de sesgo. Estas unidades pueden tener valores binarios, 0 o 1, para cada uno de los factores mencionados.

La capa oculta es de 1 capa que contiene 6 unidades o neuronas, sin contar el factor de sesgo. Estas unidades utilizan la función de activación tangente hiperbólica para procesar la información.

Por otro lado, la capa de salida se relaciona con la variable dependiente, que en este caso es la inversión. Aquí, encontramos 2 unidades o neuronas de salida que representan la información buscada en esta investigación. Un valor de 1 indica un ciclo de negocios ascendente, mientras que un valor de 0 indica uno descendente. En la capa de salida, se utiliza la función de activación Softmax.

De forma visual, la arquitectura de esta red se puede representar mediante la Figura 3, que proporciona una clara visión de cómo se conectan las diferentes capas y unidades para llevar a cabo el análisis y la predicción de la variable objetivo.

Tabla 3

Información de red

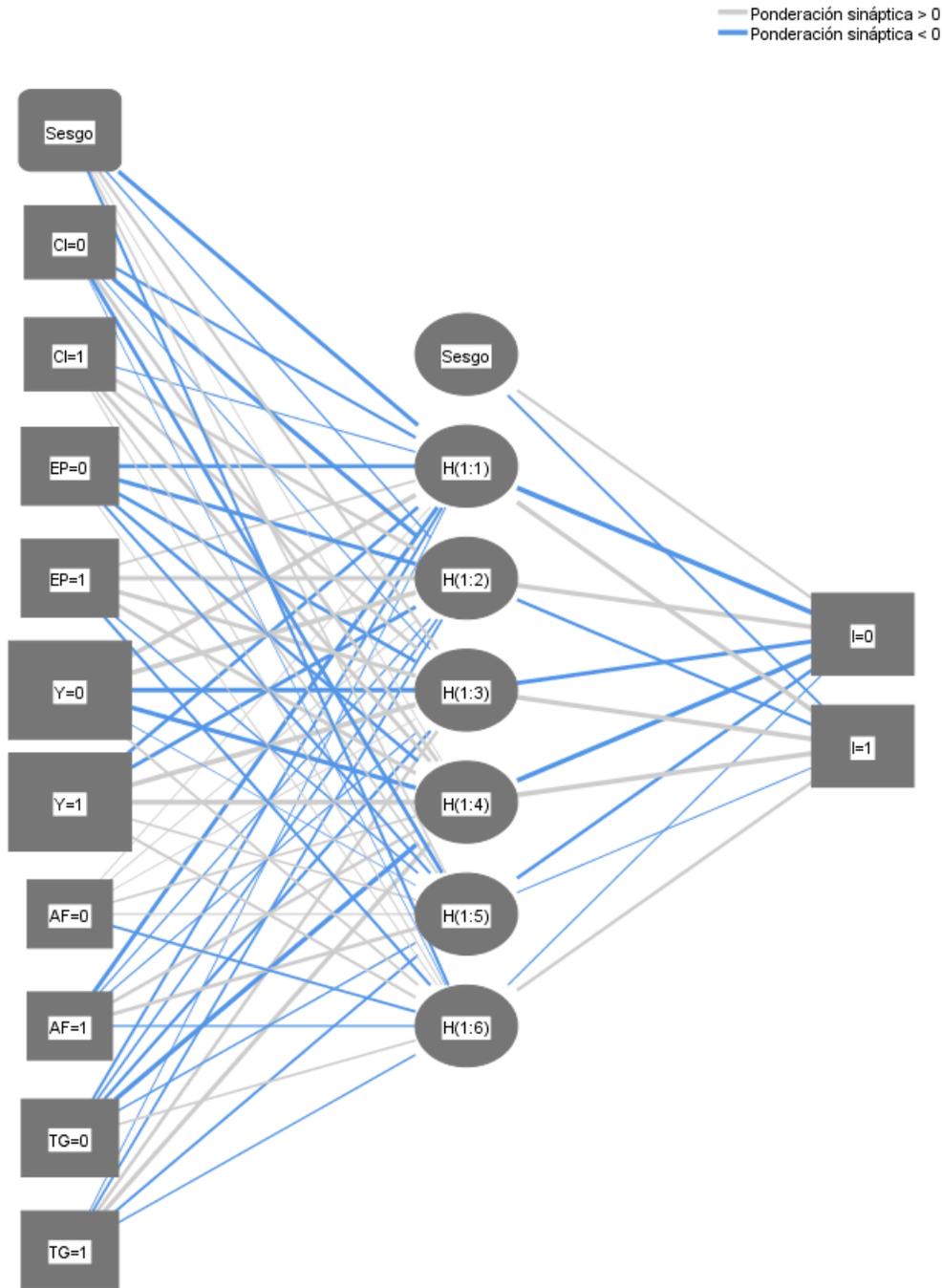
Capa de entrada	Factores	1	Capacidad instalada
		2	Expectativas de producción

		3	Ingreso
		4	Apalancamien to financiero
		5	Tasa de ganancia
	Número de unidades ^a		10
Capas ocultas	Número de capas ocultas		1
	Número de unidades en la capa oculta 1 ^a		6
	Función de activación		Tangente hiperbólica
Capa de salida	Variables dependientes	1	Inversión
	Número de unidades		2
	Función de activación		Softmax
	Función de error		Entropía cruzada

a. Se excluye la unidad de sesgo

Figura 3

Red neuronal con perceptrón multicapa para la determinación de la direccionalidad del ciclo de negocios kaleckiano



Función de activación de capa oculta: Tangente hiperbólica

Función de activación de capa de salida: Softmax

Los resultados del resumen del modelo, la estimación de los parámetros pronosticados y las diferentes figuras que complementan el proceso de estimación se encuentran disponibles en el Anexo A. A partir de estos datos pronosticados, procedemos a evaluar el poder de estimación del ciclo de negocios por parte de la red neuronal con perceptrón multicapa.

Según lo reflejado en la Tabla 4, se logró obtener un destacado porcentaje de predicción global del 93,7% en la muestra de entrenamiento. Además, en la muestra de pruebas, se obtuvo un porcentaje del 82,4%. Estos resultados son indicativos de que la red neuronal ha realizado estimaciones con una precisión considerable, superando el umbral del 80%.

Tabla 4

Clasificación

Muestra	Observado	Pronosticado		Porcentaje correcto
		Negativa	Positiva	
Entrenamiento	Negativa	19	4	82,6%
	Positiva	0	40	100,0%
	Porcentaje global	30,2%	69,8%	93,7%
Pruebas	Negativa	4	3	57,1%
	Positiva	0	10	100,0%
	Porcentaje global	23,5%	76,5%	82,4%

Variable dependiente: Inversión

La relevancia de estos resultados radica en que las variables utilizadas como determinantes de la inversión han demostrado ser significativas y con un impacto relevante en la

capacidad para determinar el ciclo de negocios de la economía colombiana. De esta manera, la red neuronal ha demostrado su habilidad para realizar predicciones con éxito, destacando la importancia y pertinencia de las variables consideradas en este estudio.

Es relevante destacar que la red neuronal muestra mayores dificultades al estimar una caída en la inversión. Esto se evidencia al observar que su porcentaje de predicción en la muestra de entrenamiento es solo del 82,6%, y en la muestra de pruebas es del 57,1%. A pesar de estas dificultades, es importante resaltar que su rendimiento general sigue siendo considerablemente bueno, lo cual respalda la afirmación realizada en el párrafo anterior.

Un aspecto crucial del análisis de la red neuronal con perceptrón multicapa en el contexto del ciclo de negocios y la inversión colombiana es la identificación de las variables independientes que ejercieron un mayor impacto en la dirección de la inversión. Este resultado reviste una importancia particular, pues nos brinda información valiosa acerca de los factores que influyen con mayor fuerza en la determinación del comportamiento de la inversión, trascendiendo el mero nivel de precisión en la predicción de esta.

Como se puede apreciar en la Tabla 5, la importancia normalizada de las variables independientes se distribuye de la siguiente manera: la variable ingreso representa el 100%, seguida por las expectativas de producción con un 37,3%, la tasa de ganancia con un 37,2%, la capacidad instalada con un 22,3% y finalmente, el apalancamiento financiero con un 7,6%.

Tabla 5

Importancia de las variables independientes

	Importancia	Importancia normalizada
Capacidad instalada	,109	22,3%

Expectativas de producción	,182	37,3%
Ingreso	,490	100,0%
Apalancamiento financiero	,037	7,6%
Tasa de ganancia	,182	37,2%

El crecimiento de la inversión no sigue una trayectoria lineal y constante a lo largo del tiempo. Esta variación se atribuye, sin lugar a duda, al impacto de la depreciación, tal como lo describe (Kalecki, 1956, pág. 122). La depreciación implica una reducción en el valor de la inversión o del stock de capital debido al desgaste físico, la obsolescencia o la pérdida de valor con el transcurso del tiempo (Pérez, 2011).

Desde la perspectiva kaleckiana, la depreciación tiene tres formas de influir en la inversión. Sin embargo, no es posible determinar si estas formas son exclusivas, si todas están presentes o si su magnitud impacta la inversión colombiana a través de una red neuronal con perceptrón multicapa, ya que las funciones de activación no lineales solo transmiten información no lineal de las células para determinar la inversión, sin tener la capacidad de establecer la depreciación en sí.

En primer lugar, la depreciación afecta la inversión bruta, ya que se considera como una parte integral de esta. La inversión bruta se ve impactada debido al desgaste del capital y la pérdida de valor a lo largo del tiempo. Los empresarios necesitarán recursos adicionales para reemplazar o mantener su stock de capital existente. Por lo tanto, la depreciación influye en la

capacidad total de inversión requerida para mantener el nivel de producción y, en consecuencia, la tasa de ganancia.

En segundo lugar, está el efecto de la acumulación de capital. Cuando la tasa de depreciación es alta, significa que una parte considerable de la inversión se destina a reemplazar el capital existente en lugar de incrementar el stock de capital neto. Esto puede tener un impacto en la capacidad de crecimiento y expansión de la producción. En otras palabras, una alta depreciación limita la cantidad de recursos disponibles para invertir en nuevos activos productivos, lo que puede obstaculizar el crecimiento económico a largo plazo.

En tercer lugar, se encuentra la relación con la utilización de la capacidad instalada. Si la tasa de depreciación es alta y la inversión no es suficiente para reemplazar completamente el capital depreciado, es probable que la capacidad productiva no se utilice de manera óptima. Esto puede dar lugar a una subutilización de los recursos productivos y reducir el grado de monopolio de los empresarios.

Cada variable incluida en el modelo tiene una relevancia significativa en la determinación de la dirección del ciclo de negocios. Sin embargo, al analizarlas en conjunto, estas diferentes importancias respaldan los postulados teóricos de la inversión kaleckiana.

La importancia del ingreso y la tasa de ganancia en la determinación de la inversión presenta significancias diferentes. No obstante, la tasa de ganancia, al ser un componente del ingreso, representa una fracción menor en dicha determinación. A pesar de esto, sigue siendo relevante. Esto se debe a que los empresarios encuentran más atractivo destinar recursos a nuevos proyectos de inversión cuando la rentabilidad económica es mayor.

Es importante destacar que la capacidad instalada muestra una importancia menor al ingreso, las expectativas de producción y la tasa de ganancia, esto se debe a que los empresarios

tienden a ser menos propensos a invertir cuando hay una subutilización de la capacidad productiva. En otras palabras, si la capacidad instalada no se utiliza en su totalidad, los empresarios tienen menos incentivos para realizar inversiones adicionales.

Cuando los empresarios perciben que la capacidad instalada no se utiliza de manera óptima, interpretan esta situación como una señal de que no hay suficiente demanda para justificar nuevas inversiones. Este fenómeno puede estar influenciado por varios factores, como una desaceleración económica, una demanda interna débil o una falta de confianza en las perspectivas futuras del mercado. Como resultado, en este período específico, la capacidad instalada se convierte en un factor que desincentiva la inversión.

Por el contrario, este incremento puede generar un estímulo para la inversión, ya que los empresarios perciben oportunidades para obtener mayores tasas de ganancia al utilizar niveles más altos de capacidad instalada o cuando alcanzan el límite máximo de su capacidad instalada actual, lo que los impulsa a invertir para expandir su producción.

Cuando los empresarios se encuentran cerca de alcanzar el límite máximo de su capacidad productiva o lo han alcanzado, se dan cuenta de una creciente demanda que no puede ser satisfecha con la capacidad actual. Esta situación crea una ventana de oportunidad para realizar inversiones adicionales y aprovechar las posibilidades de obtener mayores ganancias. En consecuencia, durante este período en particular, el incremento en la capacidad productiva actúa como un incentivo para la inversión.

En el contexto colombiano, se observa que la capacidad instalada de los productores no tiene un impacto significativo, lo que sugiere que no se realizan inversiones directamente relacionadas con el ajuste de las capacidades productivas a largo plazo. Estas inversiones se llevan a cabo mayormente con recursos propios y no a través del apalancamiento financiero,

debido a las dificultades que enfrentan los empresarios para acceder al mercado financiero y obtener préstamos, o para incluir su empresa en la bolsa de valores y obtener financiación mediante la venta de acciones. Estas limitaciones financieras pueden restringir el potencial de crecimiento y expansión de los empresarios, lo que a su vez afecta el desarrollo económico del país.

El apalancamiento financiero en la determinación del ciclo de negocios presenta la menor importancia normalizada. Esto puede atribuirse al hecho de que los empresarios en Colombia suelen realizar inversiones principalmente con capital propio, como se evidencia por la relevancia del ingreso, la tasa de ganancia y la capacidad instalada en la inversión. Es posible que la inversión con recursos propios satisfaga los requisitos de reemplazo de capital debido a la depreciación y proporcione un margen adecuado de capacidad instalada para atender la demanda a corto plazo.

Aunque Kalecki señala que el respaldo del empresario para acceder a la financiación externa es su recurso propio, en la práctica existen otras barreras de entrada, incluso teniendo recursos propios. Entre ellas se encuentran la calificación de riesgo que tienen los bancos u otras agencias de préstamo, así como los reportes de estas centrales que dificultan obtener el apalancamiento financiero necesario para expansiones mayores.

Este indicio sobre cómo afecta el apalancamiento financiero al ciclo de negocios colombiano revela una debilidad poco conocida y va más allá de simplemente referirnos a las acciones del Banco Central para controlar la tasa de interés como propulsor de la inversión económica del país. En efecto, la política monetaria debe enfocarse en promover una mayor flexibilización en la disminución de las barreras existentes en el mercado financiero para acceder a recursos externos,

lo que brindaría más oportunidades para generar inversiones y no depender únicamente de los bancos comerciales a través de los efectos de la tasa de interés de intervención.

Es importante reconocer que, simplemente modificando la tasa de interés, los empresarios no siempre accederán al apalancamiento financiero. Por tanto, es necesario que la política pública promueva enfoques más amplios para fomentar un ambiente financiero propicio para la inversión y el crecimiento económico en el país. Esto permitiría una mayor diversificación de las fuentes de financiación para los empresarios y una mayor capacidad para llevar a cabo proyectos de expansión y desarrollo, fortaleciendo el impulso económico y generando más oportunidades para el desarrollo de la inversión en Colombia.

En cuanto a las expectativas de producción como factor determinante en la direccionalidad de la inversión, se observa que tienen una importancia normalizada muy similar a la tasa de ganancia. Esto se debe a que los empresarios reconocen el grado de monopolio que poseen para generar ganancias, y su toma de decisiones de inversión está más relacionada por la tasa de ganancia que por expectativas específicas sobre la producción. En otras palabras, las expectativas de producción tienden a tener una importancia similar a la tasa de ganancia, ya que ambas se traducen en la materialización de la producción en términos de ganancias.

Kalecki (1956) destacaba que, en un mercado monopolístico, los empresarios tienen la capacidad de determinar su producción, pero esta decisión está estrechamente vinculada a la tasa de ganancia. En este contexto, los empresarios consideran una tasa de ganancia adecuada para su negocio al establecer sus expectativas, lo que a su vez influye en la cantidad de producción que deciden llevar a cabo.

Por lo tanto, la tasa de ganancia y las expectativas de producción están intrínsecamente vinculadas, ya que estas últimas se basan en gran medida en la percepción que tienen los

empresarios sobre la rentabilidad de su actividad económica. Este enfoque permite comprender cómo las expectativas, en conjunción con la tasa de ganancia, determinan el nivel de producción que los empresarios consideran más adecuado para alcanzar sus objetivos empresariales.

Al analizar las importancias de las variables que determinan la inversión, se puede observar lo establecido por (Kalecki, 1943). Según su teoría, el ciclo de inversión o ciclo de negocios es la fuente de ganancias para el capital. Esto implica que las fluctuaciones en la inversión a lo largo del tiempo son una parte intrínseca del funcionamiento del sistema económico.

En última instancia, se ha comprobado que el ciclo de negocios, con su comportamiento no lineal descrito por Kalecki y sus determinantes, se ajusta de manera idónea a estructuras como las redes neuronales no lineales con perceptrón multicapa. Esta investigación ha demostrado de manera concluyente el poder predictivo e impacto significativo de dichos determinantes en el ciclo económico de la economía colombiana. Estos resultados subrayan la importancia de considerar enfoques no lineales para comprender y pronosticar el comportamiento económico, enriqueciendo así el corpus de conocimiento en el campo de la economía.

3. Conclusiones

En resumen, la discusión sobre la naturaleza de la inversión muestra una discrepancia con la teoría económica predominante, especialmente en lo que respecta a la perspectiva de Kalecki. Este autor desafía la visión tradicional al afirmar que la igualdad entre el ahorro y la inversión, el superávit de exportación y el déficit presupuestario se mantienen independientes de la tasa de interés. En cambio, Kalecki enfatiza la importancia del tipo de interés a largo plazo, definiéndolo como el riesgo creciente asociado con la obtención de financiamiento mediante crédito para la inversión. El principio de riesgo creciente, abordado por varios autores, destaca la progresiva posibilidad de pérdida de ingresos para los empresarios en relación con la inversión propuesta en el período actual, especialmente cuando la inversión supera el capital de la empresa y se recurre a financiación externa en lugar de capital propio.

En cuanto a la crítica de Kalecki al acelerador flexible, se centra en su versión específica sin cuestionar el concepto general de que la demanda total influye en la inversión. La teoría del acelerador, que asume una elasticidad de sustitución entre capital y costos igual a cero, implica una tecnología constante y presenta la inversión como un proceso de optimización en el que el ahorro juega un papel determinante. Sin embargo, Kalecki plantea que esta visión simplificada no puede explicar de manera unidireccional la relación entre la demanda y la inversión, al abandonar la suposición de una sustitución perfecta entre factores. Además, cuestiona la homogeneidad de las empresas en términos de comportamiento de inversión, argumentando que existen diferencias significativas entre ellas, tanto en su capacidad financiera como en su tolerancia al riesgo, lo que influye en sus decisiones de inversión. Por último, Kalecki señala la falta de consideración adecuada de la incertidumbre en la teoría del acelerador flexible, ya que esta supone un sistema automático de equilibrios y una tasa de ganancia natural en un mercado

de competencia perfecta, sin tener en cuenta la necesidad de anticipar el futuro y tomar decisiones basadas en el riesgo o la tasa de ganancia.

La teoría de la inversión de Keynes, basada en la eficiencia marginal del capital, representa el rendimiento esperado de una unidad adicional de capital en comparación con su costo de producción. Sin embargo, Kalecki critica este enfoque al considerarlo estático y poco adecuado para capturar la naturaleza dinámica de la inversión. Según Kalecki, las decisiones de inversión se toman en situaciones de desequilibrio, y no debería existir automáticamente un equilibrio entre la eficiencia marginal de capital y la tasa de interés.

Kalecki argumenta que el concepto de equilibrio propuesto por Keynes es insatisfactorio para comprender la dinámica de la inversión, ya que las empresas, basadas en su poder de mercado, pueden mantener niveles elevados de inversión incluso cuando la eficiencia marginal de capital es baja, gracias a la obtención de beneficios monopolísticos.

En cuanto a los resultados del modelo de red neuronal con perceptrón multicapa ha sido altamente efectiva en la estimación del ciclo de negocios en la economía colombiana. Se ha obtenido un destacado porcentaje de predicción global del 93,7% en la muestra de entrenamiento y un 82,4% en la muestra de pruebas, lo que indica que la red neuronal ha realizado estimaciones con una precisión considerable, superando el umbral del 80%.

El análisis de la red neuronal ha permitido identificar la importancia relativa de las variables independientes en la predicción del ciclo de negocios. Los ingresos se destacan como la variable más influyente, ya que los empresarios los consideran como un factor clave en sus decisiones de inversión. Las expectativas de producción y la tasa de ganancia, aunque en menor medida, también desempeñan un papel crucial, ya que las expectativas se basan en gran medida en la percepción de la rentabilidad de las actividades económicas.

Por otro lado, se ha observado que la capacidad instalada y el apalancamiento financiero tienen una importancia relativamente menor en la predicción del ciclo de negocios. Esto sugiere que los empresarios colombianos no ajustan directamente sus capacidades productivas a largo plazo y tienden a realizar inversiones con recursos propios en lugar de depender en gran medida del financiamiento externo. Es posible que esto se deba a las barreras que representan el acceso al apalancamiento financiero.

Anexos

Anexo A. Redes neuronales con perceptrón multicapa

Resumen del modelo

Entrenamiento	Error de entropía cruzada	12,553
	Porcentaje de pronósticos incorrectos	6,3%
	Regla de parada utilizada	1 paso(s) consecutivo(s) sin disminución del error ^a
	Tiempo de entrenamiento	0:00:00,01
Pruebas	Error de entropía cruzada	4,759
	Porcentaje de pronósticos incorrectos	17,6%

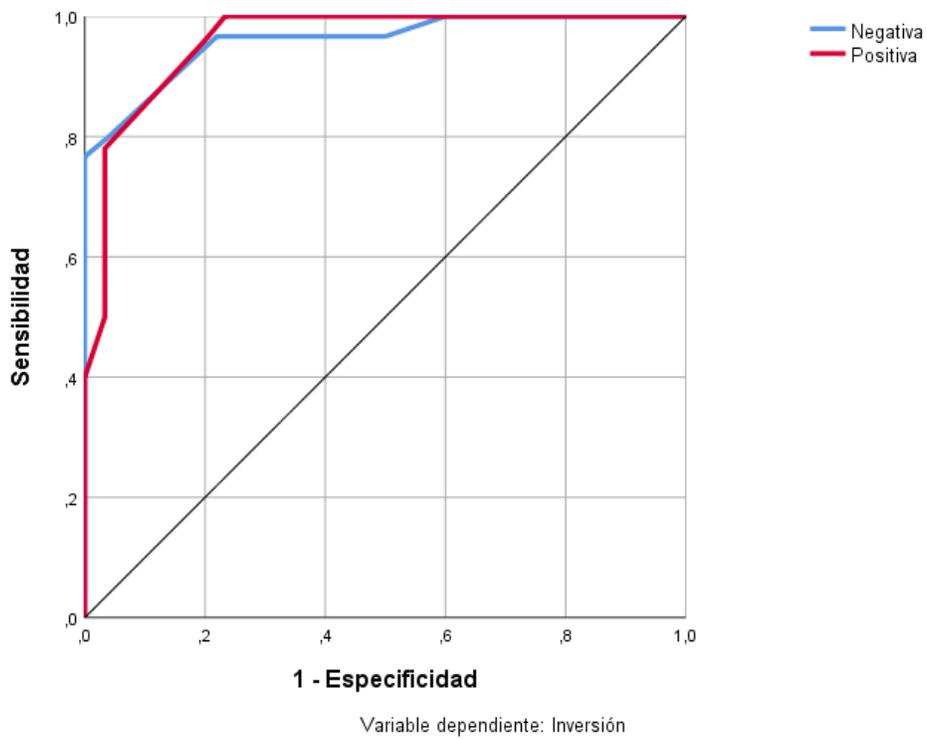
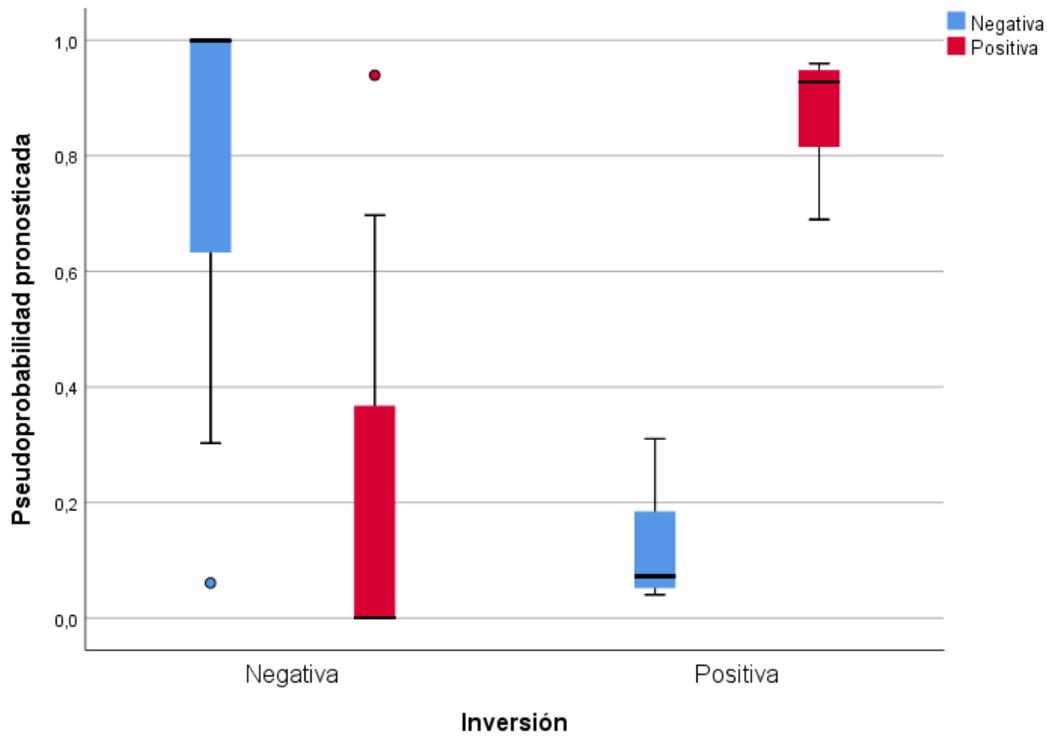
Variable dependiente: Inversión

a. Los cálculos de error se basan en la muestra de comprobación.

Estimaciones de parámetro

Predictor		Pronosticado						Capa de salida	
		H(1:1)	H(1:2)	Capa oculta 1		H(1:5)	H(1:6)	[I=0]	[I=1]
Capa de entrada	(Sesgo)	-,762	-,145	,367	,009	,159	-,358		
	[CI=0]	-,390	-,887	-,064	,599	-,610	-,008		
	[CI=1]	-,095	,604	,549	,637	,177	,073		
	[EP=0]	-,733	-,844	-,586	-,469	-,316	,045		
	[EP=1]	,241	1,083	,900	,720	-,186	-,348		
	[Y=0]	1,221	1,498	-1,257	-1,202	-,005	,261		
	[Y=1]	-,561	-,610	1,601	2,373	,208	,338		
	[AF=0]	,013	,045	,031	,230	,116	-,285		
	[AF=1]	-,753	-,118	-,106	,418	,593	-,127		
	[TG=0]	-,303	-,215	-,399	-1,270	-,159	,232		
[TG=1]	-,048	-,243	,422	1,070	-,280	-,154			
Capa oculta 1	(Sesgo)							,378	-,274
	H(1:1)							-1,648	1,265
	H(1:2)							1,274	-,402
	H(1:3)							-,789	1,473
	H(1:4)							-1,448	1,491
	H(1:5)							-,485	-,079
	H(1:6)							-,112	,428

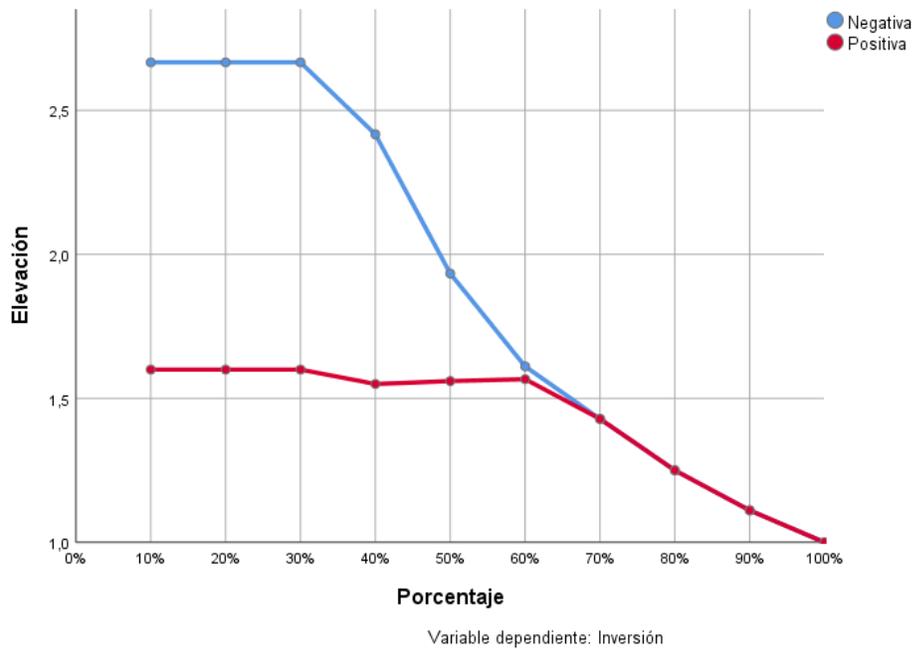
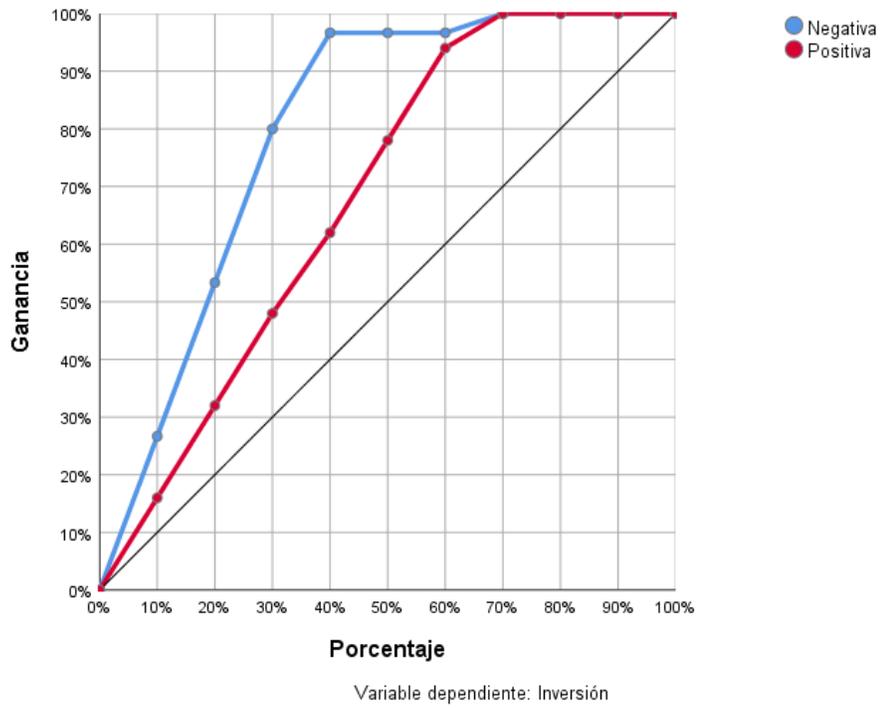
Gráficos de clasificación



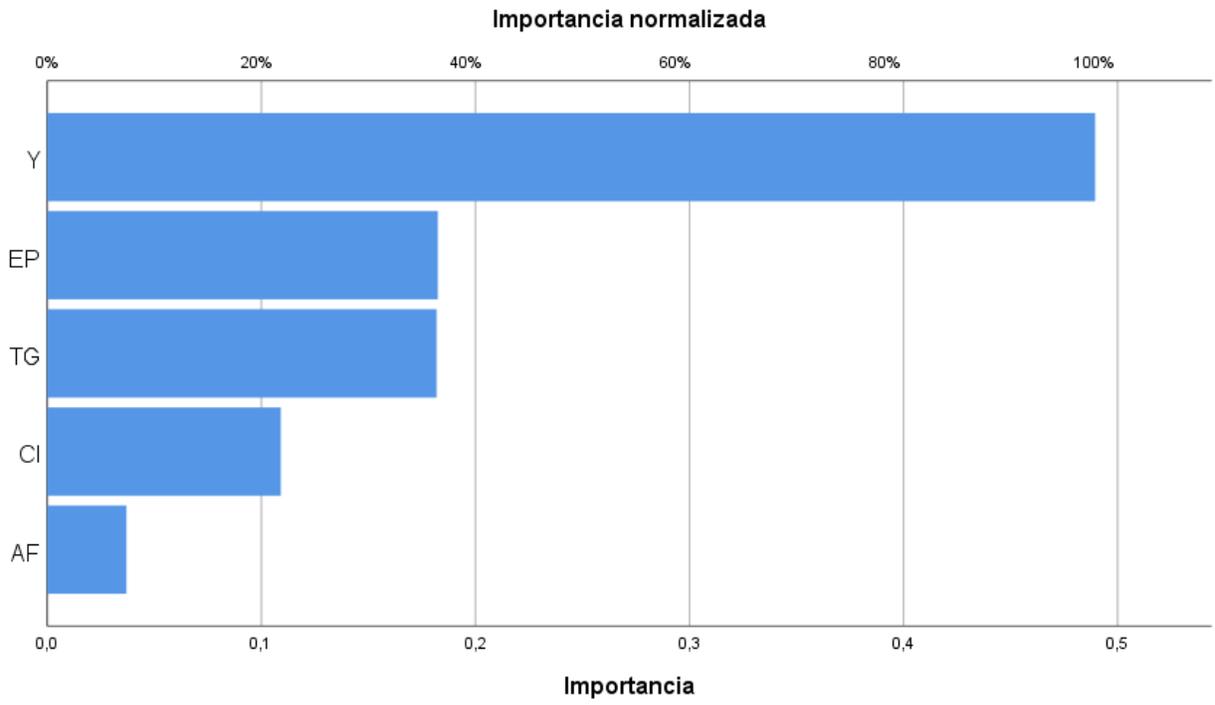
Variable dependiente: Inversión

Área bajo la curva

		Áreas
Inversión	Negativa	,959
	Positiva	,959



Importancia normalizada



Bibliografía

- Amico, F. (2009). Crecimiento, tipo de cambio, y política fiscal en Argentina. Universidad Nacional General Sarmiento, 1-24.
- Asimakopulos, A. (1983). A Kaleckian profits equation and the United States economy, 1950-1982. *Metroeconomica*, 1-27.
- Asimakopulos, A. (1991). *Keynes's General Theory and Accumulation*. Cambridge: Cambridge University Press.
- AWS. (s.f). ¿Qué es una red neuronal? Obtenido de <https://aws.amazon.com/es/what-is/neural-network/>
- Azurra, F. (2008). La teoría de la distribución del ingreso de Kalecki. *Revista Circus*, 67-84.
- Baghestani, H., & Mott, T. (2014). Asymmetries in the relation between investment and output. *Journal of Post Keynesian Economics*, 357-365.
- Bajo, S., & Ballesteros, M. (2002). Redes neuronales: concepto, aplicaciones y utilidad en medicina. *Atención primaria*, 119-120.
- BANREP. (2018). Cuentas financieras. Obtenido de <http://www.banrep.gov.co/es/contenidos/cuentas-financieras>
- Caicedo, L., & Nalvarte, J. (2016). La dinámica de la inversión privada: el modelo del acelerador flexible en una economía abierta. *Investigación Valdizana*, 93-100.
- Camacho, M. (2012). La teoría del ciclo económico de Michal Kalecki y su contrastación empírica para México 1980-2004. Obtenido de <http://132.248.9.195/ptd2013/julio/0697506/0697506.pdf>

- Campbell, U., & Barraza, J. (2015). La crítica de la teoría del valor en Marx, Sraffa y Keynes: un complemento conceptual para la economía. *Revista nicolaita de estudios económicos*, 53-69.
- Cárdenas del Rey, L. (2018). Notas sobre la teoría kaleckiana de la inversión. *Cuadernos de economía*, 119-129.
- Cárdenas, Y. (2021). Redes Neuronales. Obtenido de <https://www.mindomo.com/fr/mindmap/redes-neuronales-f8272780956e4623abcb613dae8fa89b>
- Chapra, S., & Canale, R. (2011). *Métodos numéricos para ingenieros* (Vol. 5, pp. 154-196). New York: McGraw-Hill.
- Chenery, H. (1952). Overcapacity and the Acceleration Principle. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 1-28.
- Chirinko, R. (1993). Business fixed investment spending: Modeling strategies, empirical results, and policy implications. *Journal of Economic literature*, 1875-1911.
- Crotty, J. (1992). Neoclassical and Keynesian approaches to the theory of investment. *Journal of Post Keynesian Economics*, 483-496.
- DANE. (2018). Formación bruta de capital fijo (FBKF). Obtenido de <https://www.icesi.edu.co/cienfi/images/stories/pdf/glosario/formacion-bruta-capital-fijo.pdf>
- DANE. (2018). Preguntas frecuentes. Obtenido de https://www.dane.gov.co/files/faqs/faq_pib.pdf
- DataScientest. (2022). DataScientest. Obtenido de <https://datascientest.com/es/perceptron-que-es-y-para-que-sirve>

Delgado, O. (2019). La hipótesis de la inestabilidad financiera: una propuesta de desarrollo. *Ola Financiera*, 113-135.

Dubois, D. (2004). Extension of the Kaldor-Kalecki model of business cycle with a computational anticipated capital stock. *Journal of Organisational Transformation & Social Change*, 62-80.

Duque, C. (2022). Ciclos económicos, inversión y rentabilidad del capital en Colombia: un análisis de series de tiempo. *Munich Personal RePEc Archive*, 1-30.

FEDESARROLLO. (2015). Metodología de la encuesta de opinión empresarial. Obtenido de https://www.fedesarrollo.org.co/sites/default/files/encuestas_documentos/Encuesta%20de%20Opini%C3%B3n%20Empresarial%20%28EOE%29-%20FEDESARROLLO.pdf

Feiwel, G. (1981). Michal Kalecki: contribuciones a la teoría de la política económica. México: Fondo de Cultura Económica.

González, F. (s.f). Aplicación de redes neuronales en el cálculo de sobretensiones y tasa de contorneamientos. Obtenido de https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/93593/Capitulo_6b.PDF?sequence=10&isAllowed=y

Guaita, N. (2011). Consolidación del modelo productivo. Propuestas para la nueva década. Crecimiento económico, demanda y la relevancia de la política económica en el periodo 2003-2010 (págs. 1-23). Argentina: UBA.

Huet, P. (2023). OpenWebinars. Obtenido de <https://openwebinars.net/blog/que-son-las-redes-neuronales-y-sus-aplicaciones/>

IBM. (2022). Particiones (Perceptrón multicapa). Obtenido de <https://www.ibm.com/docs/es/spss-statistics/saas?topic=perceptron-partitions-multilayer>

IBM. (s.f.). ¿Qué son las redes neuronales? Obtenido de <https://www.ibm.com/es-es/topics/neural-networks>

Jimenez, D., Paz, H., & Larco, A. (2015). Desarrollo de un sistema inteligente para la clasificación de documentos ya digitalizados aplicando redes neuronales supervisadas. *Revista Tecnológica ESPOL –RTE*, 8-23.

Jiménez, E., Jiménez, A., Briseño, C., & Barquera, R. (2021). Revisitando la teoría del ciclo económico en Michal Kalecki. *Revista Divulgación Económica*, 57-78.

Jorgenson, D. (1963). Capital theory and investment behavior. *The American Economic Review*, 247-259.

Kalecki, M. (1937). The principle of increasing risk. *Economica*, 440-447.

Kalecki, M. (1939). *Essays in the Theory of Economic Fluctuations*. Estados Unidos: Universidad de Indiana.

Kalecki, M. (1943). Political aspects of full employment. *Political Quarterly*, 322-331.

Kalecki, M. (1956). *Teoría de la dinámica económica*. Bogotá: Fondo de Cultura Económica.

Kalecki, M. (1983). Algunas observaciones sobre la teoría de Keynes (1936). *Investigación Económica*, 41-51.

Keynes, J. (1936). *The General Theory of Employment, Interest and Money*. London: Macmillan.

Kicillof, A., & Freud, S. (2004). El capital según Lord Keynes. *Revista Nueva Economía*. Órgano de la Academia Nacional de Ciencias Económicas de la República de Venezuela, 21-22.

Laureano, R. (2015). Obtenido de <https://slideplayer.es/slide/4175870/>

López, F. (1995). *Determinantes de la inversión en la gran empresa española bajo condiciones de restricciones financieras*. (Tesis doctoral). Universidad de Valladolid, España.

- López, G., & Malagamba, A. (2016). The wage-share in an openeconomy discussing Mexico's experience. *Metroeconomica*, 833-858.
- López, J. (1999). Es posible acelerar el crecimiento económico de América Latina relejendo a Michal Kalecki. *Revista de Economía Contemporánea*, 133-156.
- López, J. (2020). En memoria de Kalecki: estudios sobre la economía de los Estados Unidos. *El trimestre económico*, 1133-1157.
- López, J., & Assous, M. (2010). *Michal Kalecki*. London: Palgrave Macmillan.
- Lopez, J., & Mott, T. (1999). Kalecki versus Keynes on the determinants of investment. *Review of Political Economy*, 291-301.
- Matich, D. (2001). *Redes Neuronales: Conceptos básicos y aplicaciones*. 1-55: Universidad Tecnológica Nacional.
- Medici, F. (2008). Un abordaje al ciclo económico en Kalecki desde la demanda semi-autónoma. *Revista Argentina de Economía-Circus*, 85-96.
- Minsky, H. (1975). *John Maynard Keynes*. New York: Columbia University Press.
- Moreno, A. (2018). *Del Mundo Del Más O Menos Al Universo De Precisión: A Propósito De Los Modelos De Ciclos De Los Negocios De Ragnar Frisch Y Michal Kalecki*. Documentos Escuela de Economía FCE - CID, 1-50.
- Moreno, S. (2006). La distribución de la renta en el pensamiento de Keynes: contribuciones económicas, opciones éticas y elementos biográficos claves. *Análisis Económico*, 57-77.
- Mott, T. (2009). *Kalecki's Principle of Increasing Risk and Keynesian Economics*. London: Routledge.
- Mundaca, F., Saldarriaga, M., & Virreira, C. (2019). Utilización de la capacidad instalada: Medición y aplicaciones. *Revista Moneda*, 18-24.

- Nuti, D. (2011). El ciclo político de kalecki desde una óptica actual. Una introducción. *Revista de Economía Crítica*, 207-213.
- Otero, S. (1998). Evidencia empírica de la relación entre la inversión de la empresa industrial española y las variables financieras. *Investigaciones europeas de dirección y economía de la empresa*, 45-56.
- Pérez, Ó. (2011). Modelo kaleckiano de crecimiento con gasto público. *Inversión en educación y salud como propulsores del desarrollo. Revista CIFE*, 13-32.
- Plata, P. (2011). Plata, M. D. L. P. G. (2011). Keynes y la síntesis neoclásica/keynesiana frente a la crisis y los movimientos de capital internacional. *Análisis Económico*, 53-76.
- Rísquez, J. (2006). Keynes: la teoría cuantitativa y la no neutralidad del dinero. *Revista de Ciencias Sociales*, 308-318.
- Robinson, J. (1965). *Ensayos sobre la teoría del crecimiento económico*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Rojas, M., Parra, J., & Gutierrez, J. (2020). Teoría y empírica de los espíritus animales e incidencia en la inversión: caso Colombia. *Revista Finanzas Y Política Económica*, 523–552.
- Saludjian, A. (2008). De los ciclos económicos a la volatilidad macroeconómica: el aporte de M. Kalecki. *Ensaio FEE*, 133-156.
- Sánchez, D. (2015). ¿Son los países desarrollados y en vías de desarrollo estructuralmente diferentes? Un análisis del pensamiento de Kalecki. *Revista Encrucijada Americana*, 37-61.
- Santarcángelo, J., & Fal, J. (2008). Depresión y desempleo en Kalecki y Keynes: Un análisis comparativo. *Circus: Revista de Economía*, 1-20.

- Sawyer, M. (1985). *The Economics of Michał Kalecki*. New York: Eastern European Economics.
- SEN. (2023). Sistema de consulta de conceptos estandarizados. Obtenido de <https://conceptos.dane.gov.co/conceptos/conceptos/3026/ficha/>
- Steindl, J. (1952). *Maturity and stagnation in American capitalism*. Oxford.
- Toporowski, J. (2005). *Theories of financial disturbance: An examination of critical theories of finance from Adam Smith to the present day*. Edward Elgar Publishing.
- UNIDA. (s.f). *Inteligencia Artificial en Seguridad Informática*. Obtenido de <https://www.unida.edu.py/inteligencia-artificial-en-seguridad-informatica/>
- Vargas, F. (2003). *Conflicto interno y crecimiento económico en Colombia*. (Tesis PEG). Conflicto interno y crecimiento económico en Colombia, Bogotá.
- Vasilev, I. (2012). *Un Tutorial de Aprendizaje Profundo: De Perceptrones a Redes Profundas*. Obtenido de <https://www.toptal.com/machine-learning/un-tutorial-de-aprendizaje-profundo-de-perceptrones-a-redes-profundas>
- Villa, E., Marica, L., Flores, L., & Huayhua, J. (2021). Clasificador de estrellas de Neutrones con una red neuronal multicapa utilizando R. 33-42.