



**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN SIMÓN**  
**FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS**  
**INGENIERÍA FINANCIERA**



**Proyección de estados financieros por el método de redes  
neuronales artificiales aplicable al sector financiero de  
Bolivia**

**INVESTIGACION PARA OBTENER EL  
GRADO DE LICENCIATURA EN  
INGENIERÍA FINANCIERA**

**POSTULANTE:** Solís Peña Luis Alberto

**TUTOR:** Torrico Lara Alex

**COCHABAMBA - BOLIVIA - 2023**

# Indice capitular

<b>1. Perfil de la investigación</b>	<b>5</b>
1.1. Planteamiento del problema . . . . .	5
1.2. Formulación del problema central . . . . .	6
1.3. Justificación . . . . .	6
1.4. Alcance y delimitación . . . . .	6
1.5. Objetivos de la investigación . . . . .	7
1.5.1. General . . . . .	7
1.5.2. Especifico . . . . .	7
1.6. Hipotesis . . . . .	7
1.6.1. Elementos o componentes . . . . .	8
1.7. Marco metodológico . . . . .	8
1.7.1. Tipo de investigación . . . . .	8
1.7.2. Método de investigación . . . . .	8
1.7.3. Técnicas de investigación . . . . .	8
1.8. Fuentes de información . . . . .	11
1.8.1. Fuentes primarias . . . . .	11
1.8.2. Fuentes secundarias . . . . .	11
1.8.3. Técnica de recolección de la información . . . . .	11
<b>2. Antecedentes</b>	<b>12</b>
<b>3. Marco teorico</b>	<b>15</b>
3.1. Finanzas y el sistema financiero . . . . .	15
3.1.1. Entidades de intermediación financiera en Bolivia . . . . .	15

3.2.	Estados financieros . . . . .	16
3.2.1.	Balance general . . . . .	17
3.2.2.	Estado de resultados . . . . .	17
3.3.	Evaluación financiera . . . . .	17
3.3.1.	Indicadores financieros . . . . .	18
3.3.2.	Metodologías de evaluación . . . . .	18
3.4.	Metodo CAMEL . . . . .	18
3.4.1.	Calculo de indicadores . . . . .	19
3.4.2.	Definición de rangos y limites de los indicadores . . . . .	19
3.4.3.	Definición de la ponderación . . . . .	19
3.4.4.	Calificación CAMEL . . . . .	19
3.5.	Pronósticos . . . . .	19
3.6.	Inteligencia artificial . . . . .	20
3.6.1.	Aprendizaje supervisado con redes neuronales . . . . .	20
3.6.2.	Aprendizaje no supervisado con redes neuronales . . . . .	20
3.7.	Redes neuronales artificiales . . . . .	21
3.8.	Elementos de redes neuronales . . . . .	21
3.8.1.	Neurona artificial . . . . .	21
3.8.2.	Funciones de activación . . . . .	22
3.8.3.	Algoritmo de propagacion hacia atras o backpropagation . . . . .	23
<b>4.</b>	<b>Diagnóstico de las instituciones financieras del sistema financiero de Bolivia</b>	<b>24</b>
4.1.	Calculo de indicadores . . . . .	24
4.2.	Definición de rangos y limites de los indicadores . . . . .	24

4.3. Definición de la ponderación de elementos CAMEL . . . . .	24
4.4. Calificación CAMEL . . . . .	24
<b>5. Determinación de pronósticos de estados financieros por redes neuronales artificiales</b>	<b>25</b>
<b>6. Conclusiones y recomendaciones</b>	<b>26</b>
<b>7. Bibliografía consultada</b>	<b>27</b>
<b>8. Anexos</b>	<b>28</b>
8.1. Anexo 1 - Permiso uso de datos de entidades financiera de Bolivia publicado por la ASFI . . . . .	28
<b>9. Glosario</b>	<b>29</b>

## Lista de figuras

1. Arbol de problemas . . . . .	5
2. Función sigmoide . . . . .	23
3. Función hiperbólica . . . . .	24

## Lista de tablas

1. Matriz de diseño metodológico. . . . .	10
---	----

# 1. Perfil de la investigación

## 1.1. Planteamiento del problema

En un mundo cada vez más globalizado, y siendo el entorno financiero uno de los sectores que más ha sido impactado por la integración económica multilateral, que ha implicado su incremento en complejidad, donde los agentes económicos son expuestos a una inmensa cantidad de información sobre productos y/o servicios financieros, lo que puede dar lugar a oportunidades de incrementar rendimientos, sin dejar de lado el riesgo de perdidas consecuencia de la complejidad del mismo.

Una de las alternativas de tratamiento de esta información que ofrece el sistema financiero, y que es el objeto de estudio en esta investigación que se propone, es la aplicación de redes neuronales artificiales para la proyección de estados financieros, la cual se encarga de encontrar la relación existente en las variables introducidas al modelo que no pueden ser visibles al análisis subjetivo económico-financiero, dando lugar a la necesidad de evaluar dicha información por herramientas de igual complejidad.

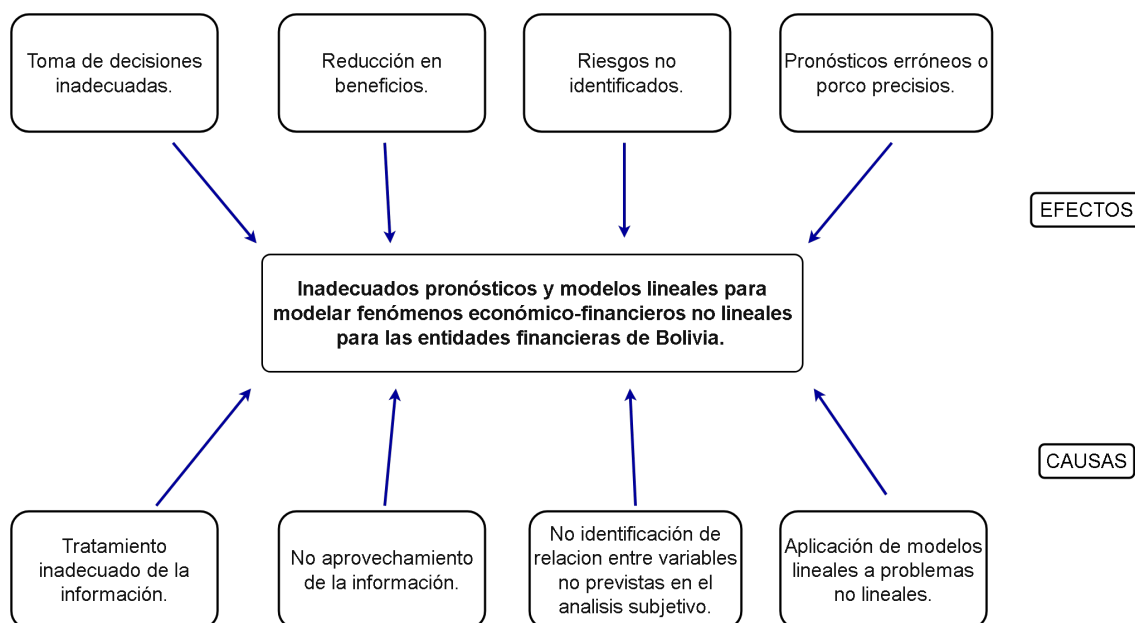


Figura 1: Arbol de problemas

## **1.2. Formulación del problema central**

¿Sera que con la aplicación del método de redes neuronales, se obtendrá información adecuada con mayor aproximación a la situación económica-financiera observada de la institución financiera correspondiente?

## **1.3. Justificación**

Observando la importancia de las proyecciones para la toma de decisiones, y la capacidad de las redes neuronales de encontrar patrones no visibles al análisis subjetivo, este tipo de modelos podrán dotar de mayor información a agentes internos y externos del sector financiero de donde y como hacer colocaciones o inversiones sobre el dinero que administran. En síntesis, el presente trabajo de investigación no pretende remplazar a otros modelos existentes para la toma de decisiones, por el contrario, ser tomado como una alternativa para el modelado de fenómenos no lineales en el campo de las finanzas.

## **1.4. Alcance y delimitación**

El presente trabajo de investigación se circunscribirá al estudio de las entidades de intermediación de servicios financieras de Bolivia, definidas en el artículo 151 de la ley 393. Con fines de obtener la información que coadyuve a generar la determinación de pronósticos mediante redes neuronales, como herramienta en la toma de decisiones a nivel gerencial y la evaluación de las mismas.

Para viabilizar la realización del tema de investigación se ha elegido, que se tomará como modelo de análisis a las siguientes entidades:

- Bancos múltiples.
- Bancos PYME.
- Entidades financieras de vivienda.
- Cooperativas de ahorro y crédito abiertas.

- Instituciones financieras de desarrollo.
- Bancos de desarrollo productivo.

para tener acceso a la información homogénea requerida, que permita generalizar los resultados mensuales obtenidos de las gestiones de 2014 a 2021, proyectando los periodos posteriores. El tema elegido y propuesto, se realizará en un tiempo no mayor a diez meses, a partir de la aprobación y registro del plan de investigación presentado.

## **1.5. Objetivos de la investigación**

Entre los objetivos propuestos para viabilizar el tema de investigación y la realización del informe final, se describen los siguientes:

### **1.5.1. General**

Proporcionar información financiera adecuada con mayor aproximación a la situación económica-financiera observada, mediante la determinación de pronósticos de estados financieros por el método de redes neuronales artificiales.

### **1.5.2. Especifico**

- Diagnostico de la situación actual del sistema financiero de Bolivia.
- Definir la arquitectura y entrenamiento del modelo de red de neuronas artificiales.
- Proyección y simulación de estados financieros.
- Evaluación financiera sobre estados financieros proyectados-simulados.

## **1.6. Hipotesis**

Con la determinación de proyecciones de estados financieros por el método de redes neuronales, de entidades financieras de Bolivia, se logrará proyectar información con mayor aproximación a la situación económica-financiera observada de la institución correspondiente.

### **1.6.1. Elementos o componentes**

- Unidad de observación y análisis: Entidades financieras de Bolivia.
- Variable independiente: Proyecciones de estados financieros por el método de redes neuronales.
- Variable dependiente: Información con mayor aproximación a la situación económica-financiera observada de la institución correspondiente.
- Enlace lógico: Se logrará.

## **1.7. Marco metodológico**

### **1.7.1. Tipo de investigación**

El tipo de investigación que se aplicará en el informe final será el descriptivo y analítico, donde se busca describir y estudiar la realidad presente de los hechos de las unidades de observación y análisis.

### **1.7.2. Método de investigación**

Donde se aplicará un enfoque inductivo donde desde hechos particulares se llegará a conclusiones generales, que posteriormente puedan ser aplicadas en otras instituciones financieras de manera exitosa y beneficiar al sistema financiero con nuestra propuesta. También cabe especificar que los procedimientos a ser aplicados en el informe final, estarán orientados a los métodos inductivo, deductivo, analítico fundamentalmente.

### **1.7.3. Tecnicas de investigación**

En primera instancia se realizara la identificación del problema de investigación que ya esta establecida en el proyecto de grado, donde se identificará la arquitectura de la red neuronal, que está compuesta de las funciones de activación, y ajuste de los datos en formato de tablas. Posteriormente se realizará la etapa de recolección de datos e información del sistema financiero correspondiente a las fuentes secundarias. Para que en consecuencia con



la obtención de la información se realizara el ordenamiento de dicha información recopilada para su procesamiento que permitirá dar un análisis concreto y preciso y a la vez realizar su sistematización para la obtención del diagnóstico.

Tabla 1: Matriz de diseño metodológico.

Objetivos		Unidad de análisis	Tipos de fuente	Técnica de recolección	Información requerida
Objetivo general	Objetivos específicos				
Proporcionar información financiera adecuada con mayor aproximación a la de decisiones situación económica-financiera observada, mediante la determinación de pronósticos de estados financieros por el método de redes neuronales artificiales.	Diagnostico de la situación actual del sistema financiero de Bolivia.	CAMEL	Secundaria	Revisión bibliográfica	Estados Financieros del sistema financiero de Bolivia.
	Definir la arquitectura y entrenamiento del modelo de red de neuronas artificiales.	RED NEURONAL	Secundaria	Revisión bibliográfica	Elementos de la red neuronal, numero de neuronas, funciones de activación y funciones de coste.
	Proyección y simulación de estados financieros.	RED NEURONAL	Secundaria	Revisión bibliográfica	Estados financieros estructurados en forma vectores.
	Evaluación financiera sobre estados financieros proyectados-simulados.	CAMEL	Secundaria	Revisión bibliográfica	Estados financieros proyectados.

## **1.8. Fuentes de información**

Se recurrirá a las fuentes de información siguientes:

### **1.8.1. Fuentes primarias**

Se recurrirá a la investigación y recopilación de datos relacionados al tema específico, mediante consultas a libros, revistas, textos digitales, apuntes de clases y otras de información histórica.

### **1.8.2. Fuentes secundarias**

Se recurrirá a las fuentes de compilación de información bibliográfica referente al tema, tales como:

- libros especializados.
- leyes.
- normas.
- resoluciones.
- glosarios.
- páginas de Internet.

### **1.8.3. Técnica de recolección de la información**

- Recopilación de información basada en fuentes primarias, secundarias y terciarias.
- Análisis de la información recopilada, con fines de depuración, selección, tabulación mediante lenguajes de programación R y Python orientado al análisis de datos, adecuando a la arquitectura de la red neuronal.

## 2. Antecedentes

Los antecedentes presentados a continuación cubren dos segmentos el campo de las finanzas y el campo de las redes neuronales, considerando también como convergen ambos en el tiempo.

La finanzas como ciencia es el resultado de la contribución de varios individuos en diferentes puntos de tiempo y también como consecuencia de otras ciencias sociales, siendo la ciencias contables y administrativas las bases de la misma, las ciencias contable dotando la materia prima y las administrativas los métodos, con este contexto presentamos los antecedentes financieros generales:

En 1494 en Venecia el Fray Luca Pacioli en su obra “Summa” presento un análisis sistemático del método contable dando lugar principio de doble partida.

Pero solo en 2001, la ciencia contable llego a uno de sus primeras cumbres que formalizan sus conocimientos con las normas internacionales de contabilidad, de la mano del Comité de Normas Internacionales de Contabilidad.

Ahora por el lado del redes neuronales artificiales se nombran los siguientes antecedentes:

Como antecedentes generales, muestran que los inicios de la inteligencia artificial de manera formal se dieron en el año 1943 cuando se colocó la primera piedra angular sobre la que se basó lo que hoy se conoce como inteligencia artificial, de la mano de Warren McCulloch y Walter Pitts, con la presentación del primer modelo matemático de aprendizaje, donde por primera vez se dota a un modelo autónomo la capacidad de aprendizaje.

En 1949 se dio otro aporte al campo de las redes neuronales por parte de Donald Hebb, quien fue el primero en explicar los procesos del aprendizaje desde una perspectiva del campo psicológico, desarrollando una regla de como el aprendizaje ocurría. La idea general que propuso era que el aprendizaje ocurría cuando ciertos cambios en una neurona eran activados.

En 1950 Alan Turing presento lo que se denominó como la “Prueba de Turing”, donde dio una definición operacional y satisfactoria de inteligencia, que dicha prueba consistía en la incapacidad de diferenciar entre entidades inteligentes indiscutibles y seres humanos.

Pero solo en 1957, Frank Rosenblatt pudo generalizar las ideas propuesta por Warren McCulloch y Walter Pitts, a dicho modelo lo denomino PERCEPTRON, el cual tiene la capacidad de generalizar problemas lineales por medio de datos de ejemplo, donde reconoce patrones y hace predicciones con datos diferentes con los que había sido entrenado, es decir está dotado con la capacidad de generalizar, y 1959 Frank Rosenblatt en su libro “Principios de Neurodinámica” confirmó que, bajo ciertas condiciones, el aprendizaje del Perceptrón convergía hacia un estado finito que denomino teorema de convergencia del Perceptrón.

En 1960 Bernard Widroff y Marcian Hoff, desarrollaron el modelo ADELIN (ADAPtative LINear Elements) que fue la primera aplicación comercial de redes neuronales para eliminar ecos en las líneas telefónicas. En 1969 se produjo un declive en las redes neuronales en consecuencia, de una publicación de Marvin Minsky y Seymour Papert probaron matemáticamente que, si bien el perceptrón era capaz de resolver con facilidad problemas lineales, pero su rendimiento decaía cuando intentaba modelar problemas no lineales, sobrecargando la capacidad de computo.

Pero en 1985 John Hopfield, hizo que las redes neuronales cobraran nuevamente importancia con su libro “Computación neuronal de decisiones en problemas de optimización” donde presenta el algoritmo de retropropagación que reduce cantidad de cómputo en proceso de aprendizaje de las redes neuronales, dotando a esta de la capacidad de resolver problemas no lineales. También 1986 David E. Rumelhart y Geoffrey E. Hinton, mejoraron el algoritmo de aprendizaje de propagación hacia atrás, que permitieron recortar el tiempo aún más el proceso de aprendizaje con respecto a los modelos anteriores.

Uno de los aportes más recientes vino por parte de la Universidad de Toronto y la empresa de Google en 2017 con la publicación del artículo titulado “Atención es todo lo que necesitas”, con la presentación de la arquitectura denominada “transformers” que de la mano de las redes neuronales dotan de atención al modelo de inteligencia artificial.

Ahora bien como antecedentes específicos Bolivia no es un país que lleve adelante de investigación o desarrollos significativos sobre inteligencia artificial como un dato relevante según el reporte Government AI Readiness Index 2020 (Oxford Insights), Bolivia ocupa el puesto 122 de 172 países, y el 22 de 32 en la región de Latinoamérica y el Caribe.

Concluyendo la sección el punto temporal la que se hace manifiesto que convergen el campo de las ciencias sociales y los modelos matemáticos-estadísticos fue traído de la mano de Francis Galton en 1886, quien acuñó el término de regresión en su artículo “Semejanza familiar en estatura”, la hipótesis propuesta en este artículo fue contrastada por Karl Pearson dando lugar a la ley de regresión universal, desde este punto hasta la actualidad los métodos de regresión han evolucionado llegando a los métodos más actuales y complejos como son las redes neuronales artificiales.

### 3. Marco teorico

#### 3.1. Finanzas y el sistema financiero

Las finanzas se entiende como “la ciencia y arte de administrar el dinero”

El sistema financiero, “consiste en diversas instituciones y mercados que sirven a las empresas de negocios, los individuos y los gobiernos”.(James C. Van Horne, 2010)

Entonces se afirma que el sistema financiero en general está formado por el conjunto de instituciones, constituidas en mercados, cuyo fin principal es canalizar el ahorro que generan los ahorradores hacia los prestatarios, así como facilitar y otorgar seguridad al movimiento de dinero y al sistema de pagos. En consecuencia al alcance y limitaciones del estudio de esta investigación se define al sistema financiero boliviano que está constituido por tres sectores que atienden al origen de su capital, el sector financiero privado, el público y con participación parcial del estado.

##### 3.1.1. Entidades de intermediación financiera en Bolivia

Las definiciones presentadas a continuación estan suscriptas a la ley 393 - ley de servicios financieros.

**3.1.1.1. Bancos múltiples.** Los bancos múltiples tendrán como objetivo la prestación de servicios financieros al publico en general.

**3.1.1.2. Bancos PYME** Los bancos PYME tendrá como objetivo la prestación de servicios financieros especializados en el sector de las pequeñas y medianas empresas, sin restricción para la prestación de los mismos también a la microempresa.

**3.1.1.3. Entidades financieras de vivienda** Las entidades financieras de vivienda es una sociedad que tiene por objeto prestar servicios de intermediación financiera con especialización en prestamos para adquisición de vivienda, proyectos de construcción de vivienda

unifamiliar o multifamiliar, compra de terrenos, refacción, remodelación, ampliación y mejoramiento de viviendas individuales o propiedad horizontal y otorgamiento de microcredito para vivienda familiar y para infraestructura de vivienda productiva, así también operaciones de arrendamiento financiero habitacional.

**3.1.1.4. Cooperativas de ahorro y crédito abiertas** Las cooperativas de ahorro y crédito se constituyen como entidades especializadas de objeto único para la prestación de servicios de intermediación financiera, dirigidos a sus socios y al público en general cuando corresponda.

**3.1.1.5. Instituciones financieras de desarrollo** La institución financiera de desarrollo es una organización jurídica propia creada con el objeto de prestar servicios financieros con un enfoque integral que incluye gestión social.

**3.1.1.6. Bancos de desarrollo productivo** El banco de desarrollo productivo es una institución con participación mayoritaria del estado que realiza actividades de primer y segundo piso de fomento y de promoción del desarrollo del sector productivo.

## **3.2. Estados financieros**

En el campo de la ciencia económicas los estados financieros tiene como objeto reflejar la situación económica-financiera de una institución.

En la página oficial de la Autoridad de Supervisión del Sistema Financiero (ASFI), “se define que los estados financieros constituyen una representación estructurada de la situación financiera y de las transacciones llevadas a cabo por la empresa. Su objetivo, con propósitos de información general, es suministrar información acerca de la situación y rendimiento financieros, así como de los flujos de efectivo que sea útil a una amplia variedad de usuarios al tomar sus decisiones económicas. Los estados financieros también muestran los resultados de la gestión que los administradores han efectuado con los recursos que se les han confiado”. (ASFI, 2022)



Entonces se afirma, que los estados financieros son un resumen del ejercicio económico de una empresa o institución, entendiendo al ejercicio económico como la suma de todas las actividades vinculadas al giro de la empresa en un intervalo de tiempo, dando información, sobre ingresos, egresos, pasivos, activos, es decir, los estados financieros son una fotografía de la empresa en un punto del tiempo.

### **3.2.1. Balance general**

El balance general se entiende como, “estado financiero que muestra, a una fecha determinada, el valor y la estructura del activo, pasivo y patrimonio de una empresa”. (ASFI, 2022)

Con una expresión equivalente se afirma que el balance general representa una fotografía sobre el estado de los bienes y derechos, respecto a las obligaciones con propietarios e terceros de la institución en un determinado momento.

### **3.2.2. Estado de resultados**

Estado de ganancias y pérdidas o estado de resultados, se entiende como, “documento contable que muestra el resultado de las operaciones (utilidad o pérdida) de una entidad durante un periodo y a una fecha determinada; resulta de la comparación de los ingresos con los gastos efectuados”. (ASFI, 2022)

Es decir, el estado de resultados muestra la conclusión en términos monetarios del conjunto de actividades administrativas y complementarias en un intervalo de tiempo de la institución correspondiente.

## **3.3. Evaluación financiera**

La evaluación financiera se entiende como un proceso de valoración de los resultados de actividades económica-financieras de las instituciones.

### 3.3.1. Indicadores financieros

La teoría financiera indica que un indicador financiero tiene como objeto final medir una característica de la entidad estudiada, estos pueden ser los siguientes:

- Estructura de activos.
- Estructura de pasivos.
- Estructura de obligaciones.
- Calidad de cartera.
- Liquidez.
- Rentabilidad.
- Ingresos y gastos financieros.
- Eficacia administrativas.

Pero los indicadores financieros por si solos no pueden brindar información integrada sobre la situación económica-financiera de una institución en consecuencia a esta necesidad, se encuentra las metodologías de evaluación que se presenta a continuación.

### 3.3.2. Metodologías de evaluación

## 3.4. Metodo CAMEL

La metodología CAMEL evalúa la **solidez financiera** de las instituciones con base ha indicadores cuantitativos, contemplando cinco características:

- Capital adecuado (C).
- Calidad del activo (A).
- Capacidad de la gerencia (M).
- Rentabilidad (E).
- Situación de liquidez (L).

La **solidez financiera** de una institución debe entenderse como la capacidad que tiene dicha institución de hacer frente a las obligaciones que tiene con terceros y propietarios.

La presente metodología se divide en siguientes pasos:

- Calculo de indicadores que responden a los características antes mencionadas.
- Definición de rangos y limites de los indicadores.
- Definición de la ponderación, que responden a la solidez financiera de la institución.
- Calificación CAMEL.

Los mismos que se describen a continuación:

#### **3.4.1. Calculo de indicadores**

#### **3.4.2. Definición de rangos y limites de los indicadores**

#### **3.4.3. Definición de la ponderación**

#### **3.4.4. Calificación CAMEL**

### **3.5. Pronósticos**

El termino de pronóstico de uso común, definido por la Real Academia Española (RAE) como la acción y efecto de pronosticar, la misma RAE define pronosticar como predecir algo en el futuro a partir de indicios. El pronóstico es el proceso de estimación en situaciones de incertidumbre, para los propósitos de esta investigación, un pronóstico es un evento asociado a una distribución de probabilidad.

En consecuencia los pronósticos por si solos tampoco pueden brindar información integrada sobre la situación económica-financiera futura de la institución, en consecuencia a esta necesidad, se encuentra las metodologías de evaluación junto con la simulación de procesos estocásticos.

## **3.6. Inteligencia artificial**

“En la literatura referente a la inteligencia artificial no existe consenso sobre lo que se entiende como inteligencia artificial, pero estas diferencias se engloban en dos ideas, donde la inteligencia artificial se refieren a procesos mentales y al razonamiento”.(Stuart Russell, 2004)

Ahora bien el campo de la inteligencia artificial es relativamente reciente, y cobra atención en la actualidad por su capacidad de resolver problemas que con anterioridad sus resultados se divisaban lejanos, como el pronóstico de fenómenos no lineales, procesamiento de lenguaje natural, generador de imágenes, clasificación de objetos e procesos estocásticos donde se encuentra la proyección de estados financieros.

### **3.6.1. Aprendizaje supervisado con redes neuronales**

El aprendizaje supervisado corresponde a la situación en que se tiene una variable de salida, ya sea cuantitativa o cualitativa, que se desea predecir basándose en un conjunto de características.(Julio Cesar Ponce Gallegos, 2014)

**El aprendizaje supervisado es una rama del aprendizaje automático, son algoritmos que permiten aprender a la red neuronal mediante datos ejemplos que están compuesta por un vector de entrada que son las variables independientes, y otro vector denomina etiquetas, donde la red se encarga de encontrar las relaciones existentes entre las variables independientes, realizando cambios y adaptando el modelo por medio de variaciones sujetas a una función de coste.**

### **3.6.2. Aprendizaje no supervisado con redes neuronales**

El aprendizaje no supervisado, “corresponde a la situación en que existe un conjunto de datos que contienen diversas características de determinados individuos, sin que ninguna de ellas se considere una variable de salida que se desee predecir”.(Julio Cesar Ponce Gallegos, 2014)

Aprendizaje no supervisado es un método de aprendizaje automático donde la red neuronal se ajusta a las observaciones. Se distingue del aprendizaje supervisado por el hecho de que no hay un conocimiento a priori es decir etiquetas que sirvan como guía, en el aprendizaje no supervisado solo se cuenta con un conjunto de datos de objetos de entrada.

### **3.7. Redes neuronales artificiales**

Las Redes Neuronales “son un paradigma de aprendizaje y procesamiento automático inspirado en la forma en que funciona el cerebro para realizar las tareas de pensar y tomar decisiones (sistema nervioso)”.(Julio Cesar Ponce Gallegos, 2014)

Una red neuronal es un método del aprendizaje automático que enseña a las computadoras a procesar datos de una manera que está inspirada en la forma en que lo hace el cerebro humano, las redes neuronales artificiales es modelo computacional resultado de diversas aportaciones científicas, consiste en un conjunto de unidades llamadas neuronas artificiales.

### **3.8. Elementos de redes neuronales**

Como todo sistema es el resultado de la interacción de elementos simples trabajando conjuntamente, que se presenta a continuación.

#### **3.8.1. Neurona artificial**

La neurona es la unidad básica de procesamiento de una red neuronal de ahí el nombre, igual que su equivalente biológico una neurona artificial recibe estímulos externos y devuelve otro valor, esta es expresada matemáticamente como una función, donde la neurona realiza una suma ponderada con los datos de entrada.

Dado:

$$X = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$$

Se tiene:

$$Y = f(X) = \sum_{i=1}^n w_i x_i = \sum W X$$

Donde:

X = Vector de los datos de entrada.

Y = Vector resultado de la suma ponderada.

W = Vector de los pesos las variables independientes.

La arquitectura de la red neuronal corresponde a la manera en que esta ordena las neuronas, si las neuronas son colocadas de forma vertical, reciben los mismos datos de entrada y sus resultados de salida lo pasan a la siguiente capa, la última capa de una red neuronal se denominan capa de salida y las capas que estén entre la capa de salida y capa de entrada se denominan capas ocultas. Ahora bien, al ser cada neurona una suma ponderada esta equivaldría a una sola capa de la red, a esto se denomina colisión de la red neuronal, para resolver este problema se planteó lo que se conoce como función de activación que es una función no lineal que distorsiona los resultados salientes de cada neurona.

$$A = f(Y)$$

### 3.8.2. Funciones de activación

Las funciones de activación distorsionan de forma no lineal las salidas de las neuronas para así no colapsar la red, dentro las funciones de activación más conocidas tenemos:

**3.8.2.1. Función escalonada** Esta función asigna el valor de 1 si la salida de la neurona supera cierto umbral y cero si no lo supera.

**3.8.2.2. Función sigmoide** Esta función genera un en un rango de valores de salida que están entre cero y uno por lo que la salida es interpretada como una probabilidad.

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}}$$

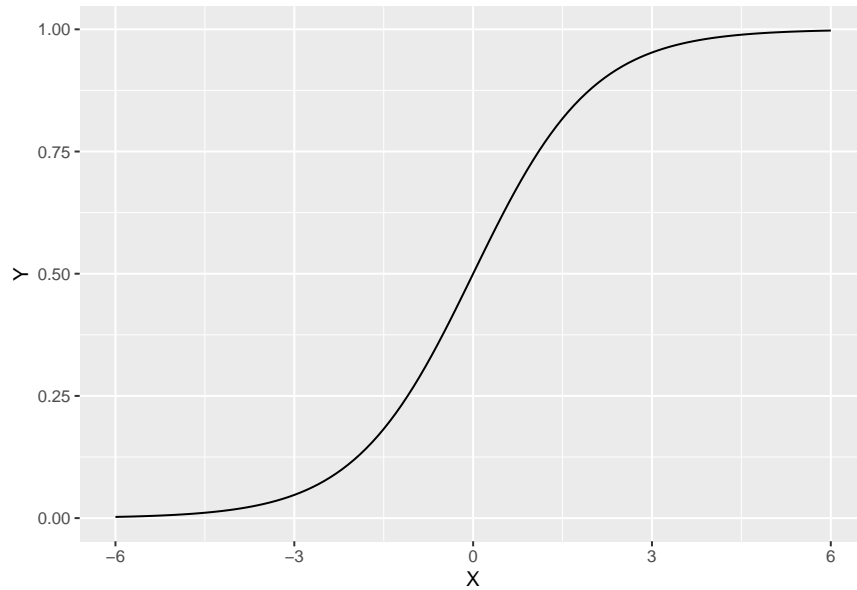


Figura 2: Función sigmoide

**3.8.2.3. Función hiperbólica** Esta función de activación llamada tangente hiperbólica tiene un rango de valores de salida entre -1 y 1.

$$f(x) = \frac{2}{1 + e^{-2x}} - 1$$

**3.8.2.4. Función Softmax** Esta función está sujeta a una distribución de probabilidad.

### 3.8.3. Algoritmo de propagación hacia atrás o backpropagation

El algoritmo de backpropagation tiene como objeto...

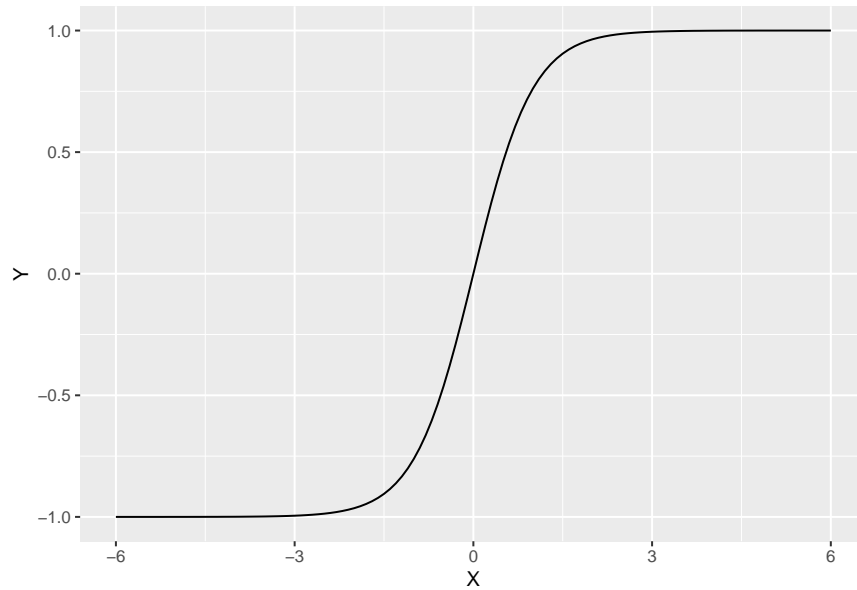


Figura 3: Función hiperbólica

## 4. Diagnóstico de las instituciones financieras del sistema financiero de Bolivia

La metodología a aplicar para realizar diagnóstico de las instituciones financieras del sistema financiero de Bolivia sera el denominado como CAMEL, que responde a la evaluación solidez financiera de las instituciones.

### 4.1. Calculo de indicadores

### 4.2. Definición de rangos y limites de los indicadores

### 4.3. Definición de la ponderación de elementos CAMEL

### 4.4. Calificación CAMEL



## 5. Determinación de pronósticos de estados financieros por redes neuronales artificiales

## **6. Conclusiones y recomendaciones**

## 7. Bibliografía consultada

- ASFI. (2022). *Autoridad de supervisión del sistema financiero*. <https://www.asfi.gob.bo>
- Berzal, F. (2018). *Redes de neuronas y deep learning*. Pearson Educación S.A.
- Cruz, E. D. (2015). *Teoría de riesgo*. Ecoe Ediciones.
- Frederick S. Hillier, G. J. L. (2018). *Introducción a la investigación de operaciones*. McGraw-Hill Educación.
- James C. Van Horne, Jr., John M. Wachowicz. (2010). *Fundamentos de administración financiera*. Pearson Educación S.A.
- Julio Cesar Ponce Gallegos, F. S. Q. A., Aurora Torres Soto. (2014). *Inteligencia artificial*. Iniciativa Latinoamericana de Libros de Texto Abiertos.
- Lawrence J. Gitman, C. J. Z. (2012). *Principios de administración financiera*. Pearson Educación S.A.
- Martínez, F. V. (2008). *Riesgos financieros y económicos - productos derivados y decisiones económicas*. Cengage Learning Editores.
- Stephen A. Ross, J. F. J., Randolph W. Westerfield. (2012). *Finanzas corporativas*. McGraw-Hill Educación.
- Stuart Russell, P. N. (2004). *Inteligencia artificial un enfoque moderno*. Pearson Educación S.A.
- Velarde, G. (2020). *Una estrategia 4.0 de inteligencia artificial en bolivia*.
- Viñuela, P. I., & León, I. M. G. (2004). *Redes de neuronas artificiales un enfoque práctico*. Pearson Educación S.A.
- Zarska, Z. K. (2013). *Finanzas internacionales*. McGraw-Hill Educación.

## **8. Anexos**

### **8.1. Anexo 1 - Permiso uso de datos de entidades financiera de Bolivia publicado por la ASFI**

## 9. Glosario