



Universidad Nacional Autónoma de México
Programa de Posgrado en Ciencias de la Administración

Determinantes económicas-financieras del precio del oro de
1987 a 2016: Una propuesta usando redes neuronales

T e s i s

Que para optar por el grado de:

Maestría en Finanzas

Presenta:

Celeste Karen Ramírez Martínez

Tutor:

Dr. Arturo Morales Castro
Facultad de Contaduría y Administración

Ciudad de México, 2017
Septiembre, 2017



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Determinantes económicas-financieras del precio del oro de 1987 a 2016: Una propuesta usando redes neuronales

Índice

Resumen	6
Abstract.....	7
Mis más sinceros agradecimientos	8
Introducción.....	10
Parte i. Marco teórico.....	12
Capítulo I. El oro.....	12
I. 1 El comportamiento del precio del oro.....	14
Capitulo II. Variables económico-financieras.....	17
II. 1 El mercado financiero y el oro.....	18
II. 2 Los factores macroeconómicos y el oro	26
II. 3 Tensiones políticas y el oro	42
II. 4 El Mercado Forex y el oro	44
Capítulo III. Redes Neuronales Artificiales (RNA).....	51
III. 1 Historia	52
III. 2 Características y ventajas de las redes neuronales artificiales.....	53
III. 3 Elementos básicos	53
III. 4 Codificación.....	56
III. 5 Tipos de aprendizaje.....	57
III. 6 Detención del proceso de aprendizaje.....	60
III. 7 Validación de la red neuronal.....	60
III. 8 Limitaciones:	60
III. 9 Comparabilidad de RNA con otros modelos.....	62
Resumen Parte i.....	65
Hipótesis	71
Parte ii. Estimación del modelo basado en redes neuronales	73
Capítulo IV. Datos y metodología	73
IV. 1 Aplicación de redes neuronales artificiales.....	74
IV. 2 Topología de las redes neuronales artificiales	77
IV. 3 Rendimientos.....	78
Capítulo V. Resultados empíricos	80
V. 1 Aplicación de redes neuronales artificiales.....	80

Determinantes económicas-financieras del precio del oro de 1987 a 2016: Una propuesta usando redes neuronales

V. 2 Topología de las redes neuronales.....	89
V. 3 Rendimientos.....	91
Resumen Parte ii.....	93
Discusión	95
Aplicación de redes neuronales artificiales.....	95
Topología de las redes neuronales.....	98
Rendimientos.....	99
Conclusiones / limitaciones / recomendaciones.....	101
Trabajos presentados en Congresos.....	104
Referencias.....	105
Apéndice.....	108

Determinantes económicas-financieras del precio del oro de 1987 a 2016: Una propuesta usando redes neuronales

Índice de gráficas

Gráfica 1. Precios históricos del oro	15
Gráfica 2. Rendimientos trimestrales del oro	15
Gráfica 3. Valores históricos del Índice FTSE.....	19
Gráfica 4. Valores históricos del índice Standard & Poor's	20
Gráfica 5. Valores históricos del índice Dow Jones	21
Gráfica 6. Precios históricos del petróleo.....	23
Gráfica 7. Tasas de interés históricas de Estados Unidos y Reino Unido.....	27
Gráfica 8. Tasas Libor y Letras del Tesoro históricas	28
Gráfica 9. Empleo histórico en Estados Unidos y Reino Unido.....	30
Gráfica 10. Tasa de desempleo histórico en Estados Unidos y Reino Unido.....	30
Gráfica 11. Producto Interno Bruto histórico de Estados Unidos	31
Gráfica 12. Producto Interno Bruto histórico de Reino Unido.....	32
Gráfica 13. Índice histórico de Precios al Consumidor.....	33
Gráfica 14. Reservas históricas sin oro	35
Gráfica 15. Reservas históricas de oro	36
Gráfica 16. Tasas históricas de inflación de la OECD, Estados Unidos y Reino Unido ..	38
Gráfica 17. Valores históricos del índice Baltic Dry.....	40
Gráfica 18. Tasas históricas del STFSI.....	43
Gráfica 19. Tipo de cambio histórico EURUSD	45
Gráfica 20. Tipo de cambio histórico JPYUSD	46
Gráfica 21. Tipo de cambio histórico de MXNUSD	47
Gráfica 22. Valores históricos del Índice Dólar	49
Gráfica 23. Impacto de las variables económico-financieras sobre el precio del oro durante el periodo de 1987 a 2016	80
Gráfica 24. Impacto de las variables económico-financieras sobre el precio del oro durante el periodo de 1990 a 2016	81
Gráfica 25. Impacto de las variables económico-financieras sobre el precio del oro durante el periodo de 1994 a 2016	82
Gráfica 26. Impacto de las variables económico-financieras sobre el precio del oro durante el periodo de 1999 a 2016 (topología 30-2-1).....	83
Gráfica 27. Impacto de las variables económico-financieras sobre el precio del oro durante el periodo de 2001 a 2016 (topología 31-1-1p2).....	84
Gráfica 28. Impacto de las variables económico-financieras sobre el precio del oro durante el periodo de 2001 a 2016 (topología 31-1-1p3).....	85
Gráfica 29. Impacto de las variables económico-financieras sobre el precio del oro durante el periodo de 2001 a 2016 (31-2-1 p3)	85
Gráfica 30. Impacto de las variables económico-financieras sobre el precio del oro durante el periodo de 2009 a 2016	86
Gráfica 31. Rendimientos del oro y de los principales índices	92

Determinantes económicas-financieras del precio del oro de 1987 a 2016: Una propuesta usando redes neuronales

Índice de Tablas

Tabla 1. Matriz de Congruencia.....	71
Tabla 2. Fuentes de las variables económico-financieras y oro.....	76
Tabla 3. Topología de redes neuronales artificiales.....	77
Tabla 4. Fuentes de los índices más representativos de la OECD y el oro	79
Tabla 5. Errores de entrenamiento y prueba de las topologías por debajo del promedio general	89
Tabla 6. Variables que más impactan al precio del oro a lo largo de 1987 a 2016	90
Tabla 7. Estadística Descriptiva.....	108
Tabla 8. Matriz de correlación.....	109
Tabla 9. Localización del conjunto de datos de entrenamiento y testeo.....	110
Tabla 10. Impacto de variables para el periodo Q1 1987 a Q4-2016.....	111
Tabla 11. Impacto de variables para el periodo Q1 1990 a Q4-2016.....	112
Tabla 12. Impacto de variables para el periodo Q1 1994 a Q4-2016.....	114
Tabla 13. Impacto de variables para el periodo Q2 1999 a Q4-2016.....	116
Tabla 14. Impacto de variables para el periodo Q1 2001 a Q4-2016.....	118
Tabla 15. Impacto de variables para el periodo Q1 2009 a Q4-2016.....	120
Tabla 16. Topologías de red neuronal artificial óptimas.....	122
Tabla 17. Promedios de los índices y oro	125
Tabla 18. Desviaciones estándar de los índices y oro	126

Índice de ilustraciones

Ilustración 1. Neurona biológica.....	51
Ilustración 2. Red neuronal	54

Determinantes económicas-financieras del precio del oro de 1987 a 2016: Una propuesta usando redes neuronales

Resumen

El objetivo principal de la presente tesis es cuantificar el impacto que el precio del oro tiene ante las variables económico-financieras relacionadas al mercado financiero, factores macroeconómicos, tensiones políticas y mercado FOREX. Los datos para el estudio son trimestrales abarcando de 1987 a 2016.

Se utiliza inteligencia artificial, específicamente redes neuronales para cuantificar tal impacto. También, se comparan dos topologías para determinar cuál es la óptima.

Se crea adicionalmente un comparativo entre los rendimientos de los principales índices del mundo y los rendimientos del oro para ver su desempeño a través de la muestra.

Los resultados son que las variables que impactan en mayor porcentaje al oro son las tasas de interés de Estados Unidos y el índice S&P 500.

Las variables que no explican consistentemente el precio del oro son el Baltic Dry Index (BDI) y oro en onzas troy de Estados Unidos.

La topología de red neuronal que se desempeña óptimamente al medir los impactos de las variables sobre el oro es 30-2-1, ya que arroja menores errores tanto en la etapa de entrenamiento como la de prueba.

Se encuentra que el desempeño de los rendimientos de los precios de los índices es mayor a los del oro. Los tres principales índices son: IPC de México con 23.18%, Nasdaq de Estados Unidos con 8.83% y Dow Jones de Estados Unidos con 7.34%.

JEL: C58, G11

Palabras clave: oro, variables macroeconómicas, redes neuronales artificiales.

Determinantes económicas-financieras del precio del oro de 1987 a 2016: Una propuesta usando redes neuronales

Abstract

The main objective of this thesis is to quantify the impact on the price of gold due to the economic-financial variables related to the financial market, macroeconomic factors, political tensions and the FOREX market. Data for the study is quarterly ranging from 1987 to 2016.

Artificial intelligence is used, specifically neural networks to quantify such impact. In addition, two topologies are compared to determine which is optimal.

A comparison between the returns of the world's leading indexes and gold returns is also presented to see their performance through the sample.

The results are that the variables that impact gold with the highest percentage are US interest rates and the S & P 500 index.

The variables that do not consistently explain the price of gold are the Baltic Dry Index (BDI) and troy ounce gold from the United States.

The neural network topology that performs optimally when measuring the impacts of the variables on gold is 30-2-1, as it yields minor errors in both the training and test stages.

It is found that the performance of index price returns are higher than gold's. The three main indices are: Mexico's IPC with 23.18%, the United States Nasdaq with 8.83% and the United States Dow Jones with 7.34%.

JEL: C58, G11

Keywords: gold, macroeconomic variables, artificial neural networks.

Determinantes económicas-financieras del precio del oro de 1987 a 2016: Una propuesta usando redes neuronales

Mis más sinceros agradecimientos

A mi mamá por ver en mí a alguien que tiene un gran futuro por delante y que puede lograr sus metas.

A mi tía por ser un gran apoyo en las buenas y las malas desde que era pequeña.

A José López por proveerme con información respecto al mercado de los metales y avivar mi interés en este tema.

A mi tutor, el Dr. Arturo Morales Castro, por guiarme desde el inicio de la tesis y ayudarme a enriquecer no solo mi trabajo sino mi experiencia.

A mi coordinadora, Rosario Higuera Torres, por apoyarme durante mí desarrollo profesional.

A mis sinodales por su dedicar su tiempo y proveer enriquecedores comentarios para mejorar mi trabajo.

A mis amigos por estar conmigo, apoyarme y compartir grandes experiencias durante esta etapa de mi vida.

A la UNAM y a la Coordinación de Estudios de Posgrado al brindarme la oportunidad de desarrollar mis capacidades y aptitudes a través del otorgamiento de una beca con la cual pude continuar con mis estudios a nivel Maestría.

A mi ángel de la guarda, mi papá, que me cuida y guía desde las alturas.

A Dios por todas las bendiciones que me ha brindado y por permitir que todo lo anterior fuera posible.

Determinantes económicas-financieras del precio del oro de 1987 a 2016: Una propuesta usando redes neuronales

“El coraje no es la ausencia de miedo, sino el juicio de que algo es más importante que el miedo.”
(Ambrose Redmoon)

“Inteligencia es lo que usas cuando no sabes qué hacer.”
(Jean Piaget)

“Cuanto más entreno, más suerte tengo.”
(Gary Player)

“Enfócate en tus fortalezas y delega tus debilidades. No puedes ser bueno en todo.”
(Desconocido)

“No tengo talentos especiales, pero sí soy profundamente curioso.”
(Albert Einstein)

“El hombre que se prepara tiene media batalla ganada.”
(Miguel de Cervantes)

“El éxito es donde la preparación y la oportunidad se encuentran.”
(Bobby Unser)

Determinantes económicas-financieras del precio del oro de 1987 a 2016: Una propuesta usando redes neuronales

Introducción

El tema del presente documento es la aplicación de modelos de inteligencia artificial al mercado del oro.

Por un lado, los modelos son elegidos debido a la importancia de estos ante el manejo de activos permitiendo así contar con información oportuna para así evitar riesgos y bancarrotas (Mombeini & Yazdani-Chamzini, 2015).

Por otro lado, el estudio del mercado del oro es elegido debido a que es un medio monetario y a su aplicación en un amplio rango de industrias (Khalifa et al., 2011). Además de sus aplicaciones industriales, el oro puede ser usado como inversión (Schulze-Roebbecke, 2016).

Kristjanpoller et al. (2014) y Emmrich & McGroarty (2013) mencionan que el oro puede mejorar los portafolios de inversión. Al mismo tiempo, puede usarse para mantener el poder adquisitivo del propietario al hallarse en forma física como lo sería un lingote o joyería (Schulze-Roebbecke, 2016). Los bancos centrales, por ejemplo, mantienen reservas de oro recurrentemente dentro de sus reservas monetarias (Hoang et al., 2016)

Es importante notar que la mayor parte de la revisión de la literatura hallada se ha centrado especialmente en el oro. La literatura sobre este metal ha llamado la atención tanto a investigadores como practicantes financieros debido a la disposición hallada por parte de los inversionistas a diversificar y cubrir riesgos dentro del mercado de valores (El Hedi Arouri et al., 2015). Urich (2000) también comenta la importancia de investigar los *commodities*, como lo es el oro, de una manera profunda, no solo lo referente a la cobertura, sino también sobre el manejo de riesgo y/o creación de modelos.

Es debido a lo anterior que es relevante saber qué variables afectan el precio del oro para evitar riesgos y así gestionar los activos asignándolos de la mejor manera posible dentro de un portafolio de inversiones. Algunos autores como Camacho (2015), Jiménez (2014), Gutiérrez et al. (2013), Malliaris & Malliaris (2013), Cai et al. (2001), Rivero-Borrell (1990) y Septien (1988) al realizar estudios donde buscan relacionar variables con el precio del oro encuentran que existen variables que parecen tener un impacto en el precio del oro, como lo son el índice Dow Jones, el precio del petróleo, el tipo de cambio eurodólar, las reservas internacionales y el riesgo.

Malliaris & Malliaris (2013) y Tully & Lucey (2007) mencionan que el precio del oro tiende a descender ante un fortalecimiento del dólar frente a otras monedas como el euro. Cai et al. (2001) por su cuenta demuestran que, durante las ventas masivas de oro en Australia y Suiza, el precio de este metal tendió a la baja. Shafiee & Topal (2010) también mencionan que otro factor que afecta al oro es la incertidumbre sobre la inflación o el aumento de riesgo pues cuando estos aumentan al parecer los precios del oro también. Ellos suponen que esto podría ser debido a que el oro parece ser una clase de refugio para los inversionistas (Baur & Lucey, 2010).

Determinantes económicas-financieras del precio del oro de 1987 a 2016: Una propuesta usando redes neuronales

Sin embargo, aún no se sabe en qué magnitud estas variables influyen en el movimiento de los precios del oro. Además, estas variables se han estudiado por separado por lo que no se sabe cuál de estas entre todas las demás tienen el mayor impacto en el precio del oro. Es la razón por la cual este trabajo busca responder la siguiente pregunta: ¿Qué variables económico-financieras tienen mayor impacto en el precio del oro?

Para responder esta pregunta y extender la literatura existente, esta tesis tiene como objetivo principal cuantificar el impacto que las variables económicas financieras halladas dentro del: mercado financiero, factores macroeconómicos, tensiones políticas y mercado FOREX tienen sobre el precio del oro. El impacto es medido a través de aplicaciones de inteligencia artificial, específicamente redes neuronales.

Los objetivos secundarios del trabajo son describir la relación del precio del oro ante las variables económico-financieras dentro del mercado financiero, factores macroeconómicos, tensiones políticas y mercado FOREX; contrastar topologías de inteligencia artificial para identificar la más eficiente en el cálculo de la sensibilidad en el precio del oro; comparar los rendimientos del oro y los rendimientos de los índices más representativos del mercado de capitales desde 1987 hasta 2016.

Este estudio debe ser relevante para los países con economías relacionadas al oro y para inversionistas que se encuentren o quieran invertir en el mercado de *commodities* tanto spot como futuro (Kristjanpoller & Minutolo, 2014).

La estructura de la tesis se muestra de la siguiente manera:

En la parte I se muestran tres capítulos. En el capítulo I se describe el mercado de metales, el mercado del oro y su importancia financiera. También se presenta la evolución de los precios del oro en el tiempo. En el capítulo II se describen los estudios que relacionan al mercado del oro y las variables económico-financieras. En el capítulo III se abordan las redes neuronales artificiales, su conformación, funcionamiento y comparación con otros modelos. Posteriormente, se presentan las hipótesis formuladas con base en el marco teórico.

En la parte II se presenta la estimación de los impactos en el precio del oro basado en un modelo de redes neuronales. En el capítulo IV se presentan los datos y metodología mientras que en el capítulo V se presentan los resultados. Consecuentemente se aborda la discusión entre los resultados hallados y el marco teórico. Finalmente, se concluye.

Determinantes económicas-financieras del precio del oro de 1987 a 2016: Una propuesta usando redes neuronales

Parte I. Marco teórico

Capítulo I. El oro

El oro es un elemento que se halla representado en la tabla periódica por la nomenclatura Au con un número atómico de 79. Pertenece al grupo de los metales y debido a su densidad se trata de un metal bastante pesado. El oro es resistente a la corrosión, calor, humedad y a la mayoría de los disolventes. También es buen conductor eléctrico y térmico (Rojas, 2004).

El oro forma parte del mercado de metales, el cual, se clasifica básicamente en dos: preciosos y base. El oro se encuentra dentro de los metales preciosos al igual que la plata, el platino y el paladio. Por otro lado, se encuentra el cobre dentro de los metales básicos debido a sus aplicaciones mayormente industriales (IQ Capital, 2016).

A pesar de que el oro se encuentra dentro del mismo mercado que los demás metales, con los cuales comparte características físicas y químicas, existen diferencias entre ellos debido al uso que se le da a cada uno; por ejemplo:

El cobre es uno de los metales más comercializados y parece ser sensible a las industrias eléctrica, de construcción y fabricación (Sánchez et al., 2015). El cobre, a diferencia del oro, no suele ser usado para inversión y preservación de poder adquisitivo, además de que no muestra las mismas fluctuaciones que el oro o la plata (Schulze-Roebecke, 2016; Urich, 2000).

En cuanto a la plata, a pesar de estar clasificada como metal precioso, realmente está en transición de metal precioso a metal industrial debido a que sus aplicaciones son recientemente más industriales. De 1970 a la fecha ha disminuido la concurrencia a la plata como activo de inversión, contrario a lo que sucede con el oro (Urich, 2000).

Referente al oro, Solnik (1993) lo describe como un activo internacional tangible que no se puede producir de manera artificial y que es negociado a escala mundial. Worthington & Pahlavani argumentan que, debido a sus propiedades físicas como lo son su durabilidad, tangibilidad y transportabilidad, es un activo buscado para invertir ya que, aparte de ser universalmente aceptado, es fácil de autenticar (citados en Hoang et al., 2016).

Europeos y asiáticos lo consideran parte de las reservas, puesto que se le valora como un activo económico debido a que históricamente ha respaldado sistemas monetarios por siglos. Además, debido a su potencial de negociación entre los inversionistas institucionales, vuelve al oro un activo monetario con gran liquidez; se entiende por liquidez la facilidad con la que un activo puede convertirse en dinero (Solnik, 1993).

Dentro del mercado de metales el oro tiene su propio mercado y este puede clasificarse en dos: El mercado *spot*, también conocido como efectivo y el mercado

Determinantes económicas-financieras del precio del oro de 1987 a 2016: Una propuesta usando redes neuronales

de papel (Ntim et al., 2015). El *spot* o efectivo es operado por el mercado de lingotes y los mercados *OTC*, mientras que el mercado de papel engloba a los valores financieros vinculados al oro como los futuros, opciones, *ETFs* y derivados (Hauptfleisch et al., 2016).

Los tres principales centros que comercian oro son: Londres, Nueva York y Zúrich. El mercado *spot* de Londres (LOTC) y el Mercado Mercantil de Futuros de Nueva York (COMEX) son los que manejan el mayor volumen de oro. COMEX domina el precio del metal a pesar de que el mercado *spot* de Londres (LOTC) maneja diez veces más volumen. Lo anterior debido principalmente a la liquidez y actividad que COMEX ofrece (Hauptfleisch et al., 2016; Lucey et al., citados en Ntim et al., 2015; O'Callaghan citado en Caminschi & Heaney, 2014).

El precio del oro ha variado a través del tiempo como se puede observar en la Gráfica 1; aunque, su precio no siempre fluctuó puesto que durante el acuerdo de Bretton Woods el precio se encontraba fijo en 35 dólares por onza. Este acuerdo finalizó en 1971 y fue entonces cuando los precios en el mercado del oro empezaron a fluctuar de acuerdo con las leyes de oferta y la demanda (Hoang et al., 2016; Ntim et al., 2015). Es esta fluctuación del precio del oro, y la volatilidad ocasionada, lo que es relevante para los inversionistas.

Emmrich & McGroarty (2013) descubren que la inclusión de oro mejora el desempeño de un portafolio de inversiones a nivel institucional. Ellos encuentran que el oro obtienen mayores rendimientos que los bonos corporativos y gubernamentales. Aunque cabe mencionar que tanto los bonos como el oro, muestran rendimientos por debajo de la inflación estadounidense.

Emmrich & McGroarty (2013) muestran que entre 1980 y 1990 el oro tiene rendimientos menores en comparación con las acciones en el mercado de valores, inclusive en 1988 conllevando a una de sus pérdidas más pronunciadas. Sin embargo, esta situación se revierte para finales de los años 2000's, donde los rendimientos del oro aumentan durante la crisis de 2007 (Cai et al., 2001). Ambas situaciones pueden ser observadas en la Gráfica 1 donde se muestra que efectivamente en 1988 el oro tiene un descenso en su precio; y, por el contrario, en 2007 el precio del oro se incrementa conforme la crisis va manifestándose.

Emmrich & McGroarty (2013) no son los únicos autores en abogar por la inclusión del oro en los portafolios de inversión. El Hedi Arouri (2015) también menciona que dicho metal debe formar parte integral de un portafolio de acciones diversificado, particularmente en épocas de crisis. Solnik (1993) menciona que, en general, el oro permite diversificar carteras contra riesgos que afecten a todas las bolsas de valores al mismo tiempo debido a que existe una correlación pequeña, a veces negativa, entre el precio del oro y las acciones. Es por tal razón que se reduce el riesgo y aumenta el desempeño de la cartera.

Determinantes económicas-financieras del precio del oro de 1987 a 2016: Una propuesta usando redes neuronales

Gary Gorton & K. G. Rouwenhorst, Gutiérrez et al. (2013), Kristjanpoller et al. (2014) y Creti et al. (2013) consideran que los *commodities*, como lo es el oro, suelen estar negativamente correlacionados con acciones y bonos, lo cual los vuelve atractivos para la conformación de un portafolio de inversión (citados en Schulze-Roebbecke, 2016).

Rivero-Borrell (1990) también concluye que la inclusión de oro en el portafolio de inversiones produce mayores rendimientos. No obstante, tanto Solnik (1993) como Rivero-Borrell (1990) mencionan que el oro está ligado al riesgo pues conlleva alta volatilidad y desviación estándar.

De cierto modo, Emmrich & McGroarty (2013), Hedi Arouri (2015), Solnik (1993), Gary Gorton & K. G. Rouwenhorst, Gutiérrez et al. (2013), Kristjanpoller et al. (2014) y Creti et al. (2013) en sus estudios advierten que existen variables que afectan el precio del oro como los bonos, las acciones y las crisis.

I. 1 El comportamiento del precio del oro

La tendencia del precio del oro de 1987 a 2006 había sido lateral, pero en el primer trimestre de 2006 rebasa su máximo valor hasta esa fecha y pasa a una tendencia alcista que perdura 6 años.

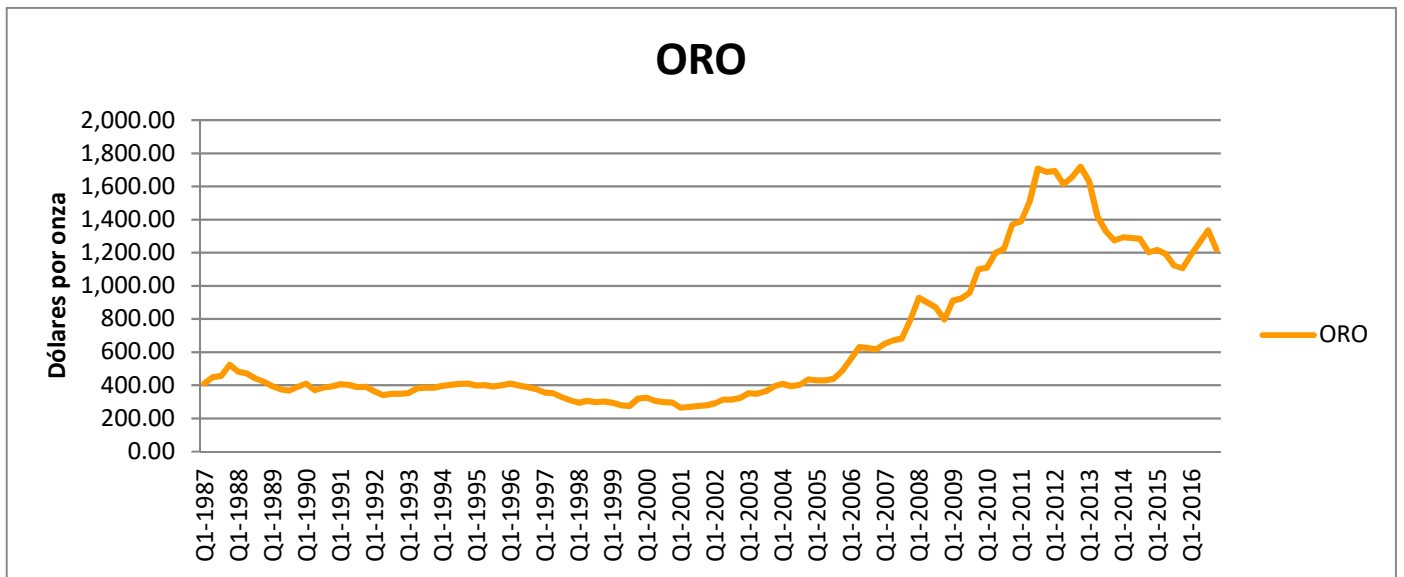
En el tercer trimestre de 2011 el oro alcanza un precio por arriba de los 1,600 dólares por onza y en 2012 después de alcanzar su máximo promedio histórico trimestral de 1,719 dólares por onza, tiene una racha a la baja en la cual toca un precio promedio trimestral de 1,105 dólares por onza.

Respecto a la volatilidad el oro se sitúa en un rango menor de 16% a lo largo del periodo de 1987-2016. Sus puntos más volátiles son durante el primer trimestre de 2008 y el segundo semestre de 2013. Fue en esos momentos, en los cuales se manifestó y disipó la crisis estadounidense, tiempo después el oro presentó rachas a la baja después de haber mostrado picos al alza en su precio.

Tanto el precio del oro como sus variaciones trimestrales se pueden observar en la Gráfica 1 y Gráfica 2.

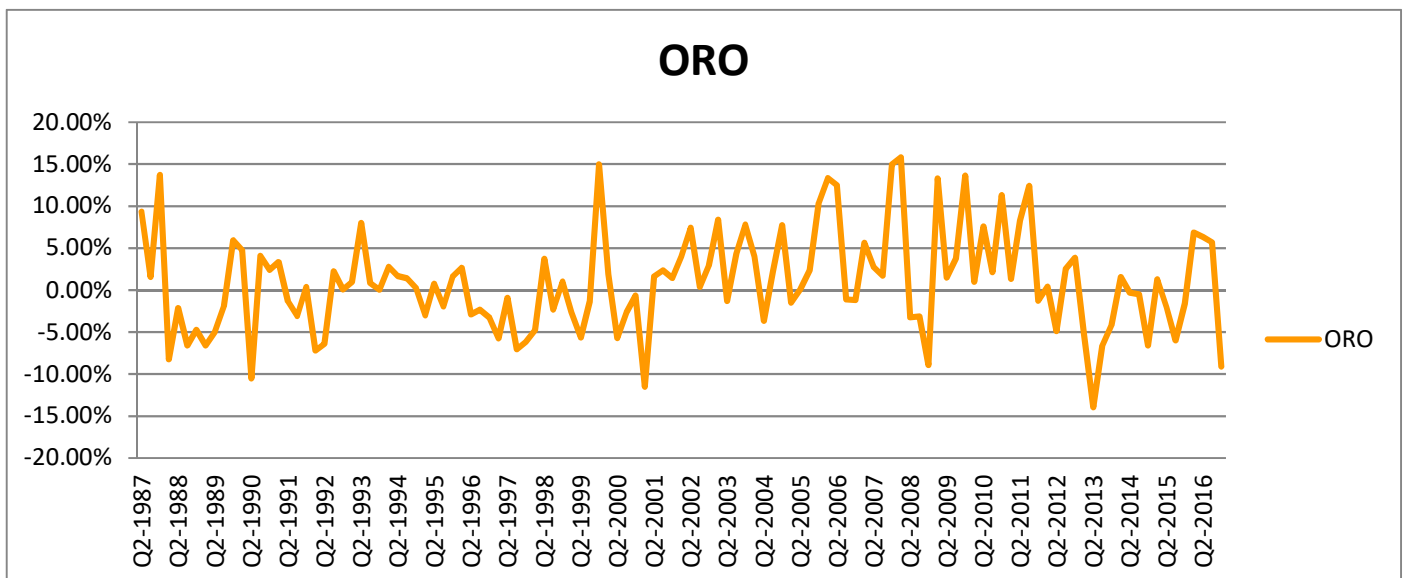
Determinantes económicas-financieras del precio del oro de 1987 a 2016: Una propuesta usando redes neuronales

Gráfica 1. Precios históricos del oro



Fuente: Ramírez (2017), con datos de Capital IQ <https://www.capitaliq.com>

Gráfica 2. Rendimientos trimestrales del oro



Fuente: Ramírez (2017), con datos de Capital IQ <https://www.capitaliq.com>

Determinantes económicas-financieras del precio del oro de 1987 a 2016: Una propuesta usando redes neuronales

La desviación estándar del precio del oro a lo largo del periodo de 1987 a 2016 es de 432.63. Los precios mínimos, máximos, media y desviación estándar pueden ser observados en la estadística descriptiva de la Tabla 7 dentro del apéndice.

El periodo mostrado en la Gráfica 1 y Gráfica 2 es el que es tomado para el presente trabajo, debido a que se busca dar continuidad al estudio realizado por Septien (1988), quien utiliza datos anuales de 1968 a 1986 para pronosticar el precio del oro a partir de variables basadas en las noticias que considera más relevantes.

Determinantes económicas-financieras del precio del oro de 1987 a 2016: Una propuesta usando redes neuronales

Capítulo II. Variables económico-financieras

En el capítulo I se menciona que algunos autores como Emmrich & McGroarty (2013), Hedi Aroui (2015) y Solnik (1993) advierten la existencia de variables que afectan el precio del oro. Igualmente, otros autores han realizado estudios sobre las variables que afectan al mercado de metales enfocándose especialmente en el oro.

Lili & Chengmei distinguen tres grupos de factores influyentes que afectan los precios del oro lo cual facilita la clasificación de las variables que al parecer tienen relación con este metal. Estos grupos son: el mercado financiero, los factores macroeconómicos y tensiones políticas (citados en Gutiérrez et al., 2013).

El primer grupo de factor influyente es el mercado financiero el cual contempla el mercado de valores, el petróleo y la fijación del precio del oro por parte de la Bolsa de Valores de Londres. A su vez dentro del mercado de valores se presta especialmente atención a los índices Dow Jones, FTSE y Standard & Poor's.

El segundo grupo de factor influyente son los factores macroeconómicos dentro de los cuales se incluyen las tasas de interés, las letras del Tesoro, los informes de empleo, el PIB, las reservas, la inflación internacional, el nivel de precios de consumidor y oferta de oro.

El tercer grupo de factor influyente son las tensiones políticas, el cual contempla el estrés financiero como un indicador de crisis.

Finalmente, se agrega un cuarto grupo de factores influyente a la clasificación de Lili & Chengmei, el mercado FOREX. Esto debido a estudios que han tomado tipos de cambio para explicar y/o pronosticar las fluctuaciones en el precio del oro y plata (citados en Gutiérrez et al., 2013). Cada factor influyente como su relación con el oro es discutido a continuación.

Determinantes económicas-financieras del precio del oro de 1987 a 2016: Una propuesta usando redes neuronales

II. 1 El mercado financiero y el oro

El primer grupo de factor influyente es el mercado financiero: Subdividido a su vez en Mercado de Valores, Sector Energético y Fijación del Precio del Oro.

Mercado de valores

El mercado de valores es el lugar donde se negocian títulos tanto públicos como privados. Está constituido por instituciones financieras que canalizan la oferta y la demanda de estos títulos. Este mercado es mencionado como una influencia inversa al precio de oro por Lili & Chengmei puesto que cuando el oro sube, los indicadores financieros disminuyen y viceversa (citados en Gutiérrez et al., 2013).

Mombeini y Yazdani-Chamzini (2015) también mencionan esta relación inversa y tratan de explicarlo argumentando que los inversores tienden a transferir dinero desde el mercado de oro al de capitales cuando este último ofrece rendimientos al alza.

En artículos previos, hay tres índices que son estudiados para encontrar si hay una relación entre el mercado de valores y el precio del oro. Estos son el FTSE 100, el S&P 500 y el Dow Jones.

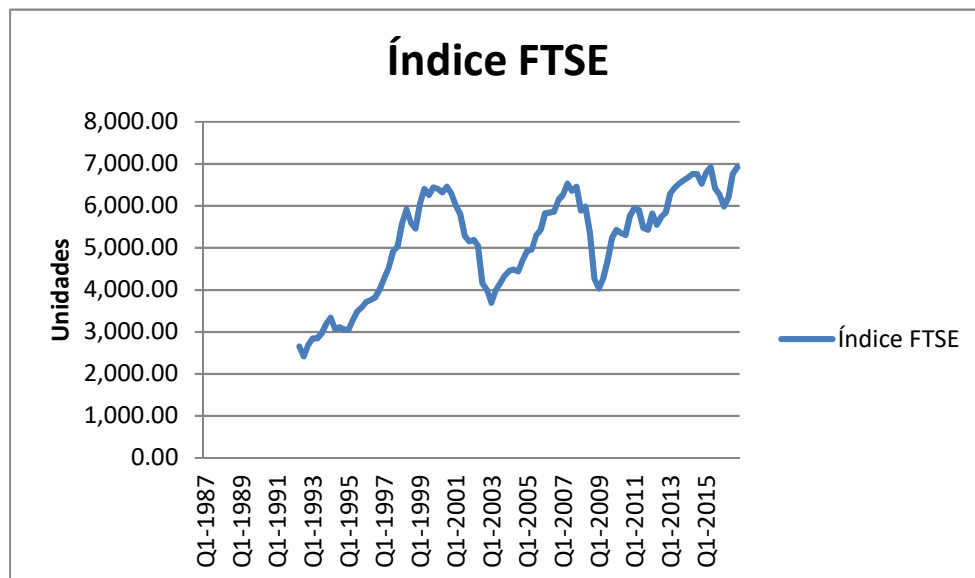
Determinantes económicas-financieras del precio del oro de 1987 a 2016: Una propuesta usando redes neuronales

El índice FTSE 100

Este índice fue creado por una organización independiente que lleva el mismo nombre, la cual es propiedad del *Financial Times* y de la Bolsa de Valores de Londres. El índice FTSE 100 engloba a las cien empresas más grandes listadas en la Bolsa de Valores de Londres.

Desde que entrara al mercado de valores en 1992, la tendencia del índice londinense ha sido ascendente, aunque mostrando grandes altibajos en el 2000 y 2007. Su volatilidad se ha situado en un 10% en general; sin embargo, en 2002 y 2008 mostró sus más altas volatilidades rebasando el 20% como puede observarse en la Gráfica 3.

Gráfica 3. Valores históricos del Índice FTSE



Fuente: Ramírez (2017), con datos de Capital IQ <https://www.capitaliq.com>

Kristjanpoller & Minutolo (2015) incluyen este índice en su modelo de pronóstico RNA-GARCH, descubriendo que al incluirlo junto al Dow Jones, petróleo, yen dólar y euro dólar se obtienen mejores resultados en un pronóstico de 21 días de volatilidad.

Determinantes económicas-financieras del precio del oro de 1987 a 2016: Una propuesta usando redes neuronales

El índice S&P 500

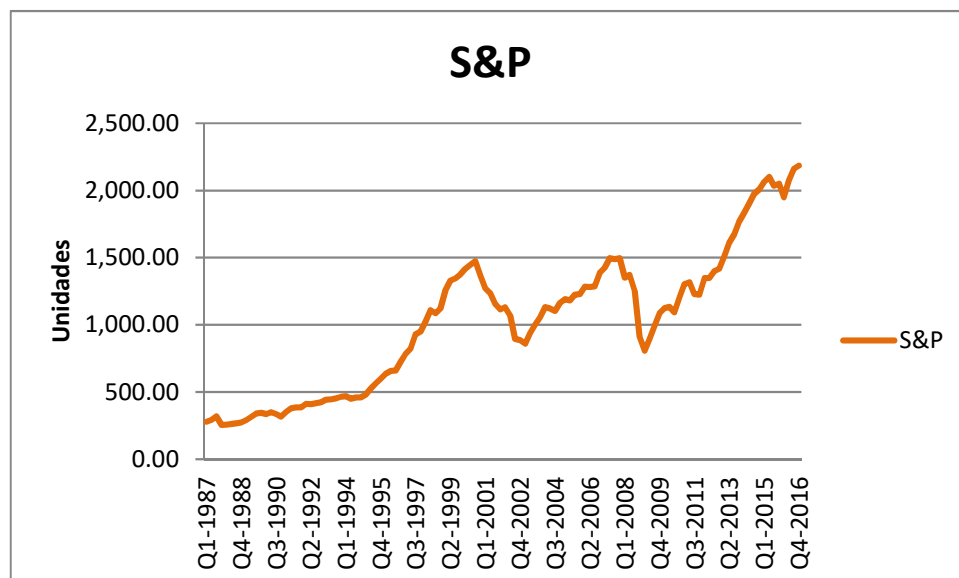
El índice Standard & Poor's 500 está conformado por las quinientas empresas más capitalizables en Estados Unidos siendo un común *benchmark* para el mercado de capitales dentro del mismo país.

El comportamiento del índice S&P 500 ha sido al alza a lo largo del periodo de 1987 a 2016; a pesar de ello, el índice ha mostrado altibajos de 1997 a 2002 y de 2007 a 2010 como puede observarse en la Gráfica 4.

En el primer caso presenta rendimientos de más del 19%; en el segundo, muestra pérdidas de más del 20%. El índice S&P alcanza su valor máximo en el último trimestre de 2016 obteniendo 2,184.87 puntos.

La volatilidad del índice usualmente oscila en un rango del 15%; aunque, superó este porcentaje en 1987, 2002 y 2008. Este último conllevando a una volatilidad mayor al 30%.

Gráfica 4. Valores históricos del índice Standard & Poor's



Fuente: Ramírez (2017), con datos de Capital IQ <https://www.capitaliq.com>

Este índice fue tomado por Schulze-Roebbecke (2016), quien lo analiza junto a las Letras del Tesoro a 3 meses, el índice *Baltic Dry* y la canasta de dólares para tratar de pronosticar los precios de los contratos de futuro del oro, aunque sin éxito.

Determinantes económicas-financieras del precio del oro de 1987 a 2016: Una propuesta usando redes neuronales

El índice Dow Jones

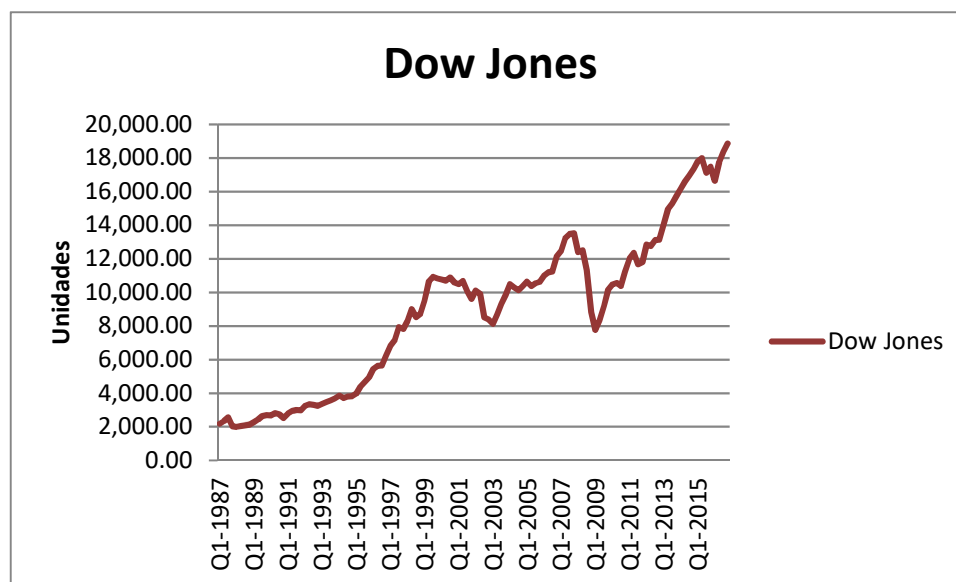
Es uno de los índices más conocidos dentro del mercado de capitales en Estados Unidos, mide los movimientos diarios en los precios de treinta compañías inmersas en el sector industrial y de bienes de consumo.

El comportamiento del índice Dow Jones ha sido al alza a lo largo del periodo de 1987 a 2016, similar al índice S&P. También mostrando altibajos de 1997 a 2002 y de 2007 a 2010.

De 1997 a 2002 presenta rendimientos de más del 27%, mayores al S&P; de 2007 a 2010 muestra pérdidas de más del 17%, menores al S&P. El índice Dow Jones, al igual que el S&P, alcanza su valor máximo histórico en 2016 como puede observarse en la Gráfica 4 y Gráfica 5.

La volatilidad del índice Dow Jones es prácticamente la misma que el índice S&P, incluso los años donde tuvo mayor volatilidad fue la misma. Esto se puede atribuir a que ambos índices representan a empresas estadounidenses.

Gráfica 5. Valores históricos del índice Dow Jones



Fuente: Ramírez (2017), con datos de Capital IQ <https://www.capitaliq.com>

Gutiérrez et al. (2013) comparan los ciclos de este índice y su relación con el *Gold Fix*. Ellos utilizan redes neuronales artificiales tomando datos de 1900 a 2010 y encuentran que los precios del oro parecen verse afectados en una relación negativa con los mercados financieros y los indicadores macroeconómicos. También hallan

Determinantes económicas-financieras del precio del oro de 1987 a 2016: Una propuesta usando redes neuronales

que el precio del oro evoluciona cíclicamente con un período de 37 años. Ellos esperan, con base en este ciclo, un alza en el precio del oro a partir de 2015, donde este subiría a medida que el índice Dow Jones cayera.

Por otra parte, Kristjanpoller & Minutolo (2014), al aplicar una ventana de tiempo más corta a su modelo híbrido, hallan que el Dow Jones queda fuera de las variables explicatorias.

Determinantes económicas-financieras del precio del oro de 1987 a 2016: Una propuesta usando redes neuronales

Sector energético

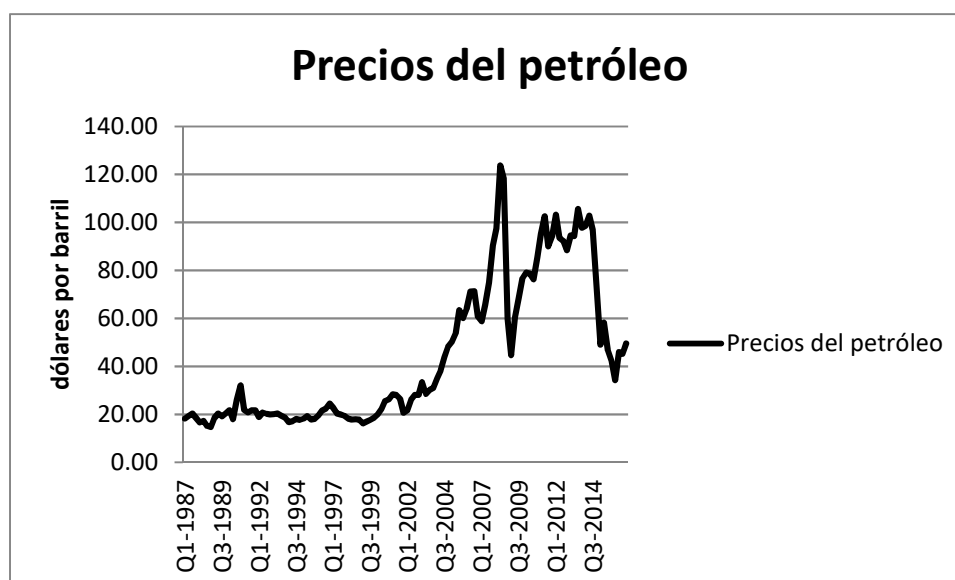
Gutiérrez et al. (2013) en el estudio que realiza con el Dow Jones menciona que existe una relación positiva entre el sector energético y el oro. Este sector energético incluye emisiones derivadas de la producción eléctrica para satisfacer la demanda incluyendo los consumos internos de las centrales eléctricas y pérdidas de transporte siendo bien representado por el petróleo.

La tendencia del precio del petróleo había sido lateral a lo largo de 1987 a 2002. No obstante, a partir de que en ese año rompe su precio máximo adoptando una tendencia al alza muy pronunciada aparejada de una volatilidad cada vez mayor. De 2002 a 2008 había generado un rendimiento de 283%. A pesar de alcanzar su precio máximo histórico de 123.75 dólares por barril en el segundo trimestre de 2008, este se desplomó hasta tocar 44.69 dólares por barril en 2009.

Este precio retomó su tendencia alcista llegando a 105.67 dólares por barril y desplomándose de nuevo en el primer trimestre de 2016 para tocar un precio de 34.18 dólares por barril, el menor precio en los últimos doce años. Los precios pueden ser observados en la Gráfica 6.

La volatilidad del petróleo oscila en el 40%; pese a ello, en 2008 la rebasa al tener un 60%.

Gráfica 6. Precios históricos del petróleo



Fuente: Ramírez (2017), con datos de Capital IQ <https://www.capitaliq.com>

Determinantes económicas-financieras del precio del oro de 1987 a 2016: Una propuesta usando redes neuronales

Jiménez (2014) observa una posible correlación entre los precios del petróleo y el oro al realizar un análisis comparativo de la producción y el precio de ambos *commodities*, el sector externo y fiscal para el período 1960 a 2012. Ambas materias primas siguieron el mismo comportamiento durante el período analizado, a pesar de tener diferentes volatilidades. Al observar la Gráfica 1 y la Gráfica 6 se puede apreciar que en efecto el precio del petróleo muestra un comportamiento parecido al precio del oro ya que manifiesta tendencias y rachas similares.

Rivero-Borrell (1990) por su parte al realizar la revisión de la literatura para la construcción de sus portafolios de inversión menciona que el precio del petróleo podría afectar al del oro.

Mombeini & Yazdani-Chamzini (2015) tratan de justificar que los comportamientos de ambos están correlacionados porque pertenecen a la categoría de *commodities*. Esta posible relación podría ser a su vez ocasionada por la tensión que suele impulsar el precio de ambos *commodities*. Por otro lado, Hoang et al. (2016) menciona que cuando los precios del petróleo incrementan, los productores tienden a tener más dinero para invertir en un activo como el oro lo cual ocasiona que los precios del oro también suban.

Sin embargo, Jiménez (2014), Rivero-Borrell (1990), Mombeini & Yazdani-Chamzini (2015), Hoang et al. (2016) no cotejaron en aquel momento lo observado.

Malliaris & Malliaris (2013), Septien (1988) y Kristjanpoller & Minutolo (2014) realizan estudios para vincular el precio del oro con el del petróleo.

Por un lado, Malliaris & Malliaris (2013) realizan un estudio para ver si el petróleo tiene alguna relación con el oro. Ellos analizan los precios del euro, el petróleo y el oro utilizando datos de 2000 a 2007, llegando a la conclusión que los mercados del oro, el petróleo y el euro son eficientes; el precio del petróleo puede ser pronosticado por los valores de oro, el euro y los valores de retraso de los tres; mas no encontraron una conexión entre el petróleo y el oro.

Septien (1988) al crear un modelo de pronóstico encuentra que una de las variables que afectan al precio del oro es el precio de petróleo. Y, Kristjanpoller & Minutolo (2014) al tratar de relacionar el mercado de metales con el precio del petróleo y la inflación observan que si existe una relación siendo esta mayor entre petróleo y el oro que con la inflación.

Determinantes económicas-financieras del precio del oro de 1987 a 2016: Una propuesta usando redes neuronales

Fijación del precio del oro

La fijación del precio del oro ocurre dos veces en Londres, la primera a las 10:30 a.m. y la segunda a las 3:00 p.m. ambos en horario de Reino Unido (Hauptfleisch et al., 2016).

Originalmente sólo operaba el horario matutino, pero se adicionó el vespertino para compaginar con la hora de operación de Nueva York.

Esta fijación es llevada a cabo por el *London Bullion Market Association* la cual es una asociación internacional que representa al mercado de lingotes de oro y plata londinense que incluye a bancos centrales, inversionistas en el sector privado, compañías mineras, productores, refinadores y fabricantes (LBMA, 2017).

Caminschi & Heaney (2014) toman la fijación del precio de las 3:00pm y encuentran elevados niveles de trading y volatilidad en el precio del oro inmediatamente después del inicio de la fijación del precio, antes de su conclusión y de la publicación de los resultados, al igual que ventajas para conseguir rendimientos durante los primeros cuatro minutos del inicio de la fijación del precio, pero no encuentran impacto en los rendimientos después de la publicación de los resultados.

Dentro del mercado financiero se han identificado variables que parecen afectar al precio del oro. Hasta el momento, el petróleo ha sido la variable que más se ha estudiado y tratado de relacionar con el oro. Por lo tanto es una variable a incluir en el presente estudio, así como los tres índices del mercado de valores. Por otro lado, aunque se desearía incluir la fijación del precio del oro en el estudio no es posible, debido a la periodicidad de la mayoría de los datos. Además, Caminschi & Heaney (2014) mencionan que no hay un impacto después de la publicación de los resultados por parte de la LBMA.

Determinantes económicas-financieras del precio del oro de 1987 a 2016: Una propuesta usando redes neuronales

II. 2 Los factores macroeconómicos y el oro

El segundo grupo de factor influyente en el precio del oro son los factores macroeconómicos. Definiendo macroeconomía como la parte de la economía que estudia los agregados económicos para comprender el funcionamiento de un país o región (Eumed, 2017).

Lili & Chengmei mencionan a las tasas de interés, las letras del Tesoro de Estados Unidos, el Índice de Precios al Consumidor, la inflación, entre otros, como variables que influyen en los precios del oro de manera inversa (citado en Gutiérrez et al., 2013). De igual forma Rivero-Borrell (1990) y Cai et al. (2001) mencionan que lo que afecta al precio del oro entre otras variables son las tasas de interés.

Se han tomado principalmente datos estadounidenses y británicos de las variables mencionadas por Lili & Chengmei debido a que el mercado del oro es definido en mayor parte por estos dos países (citado en Gutiérrez et al., 2013).

Lo que los autores han encontrado respecto a estas variables y su relación con el oro es presentado a continuación.

Tasas de interés

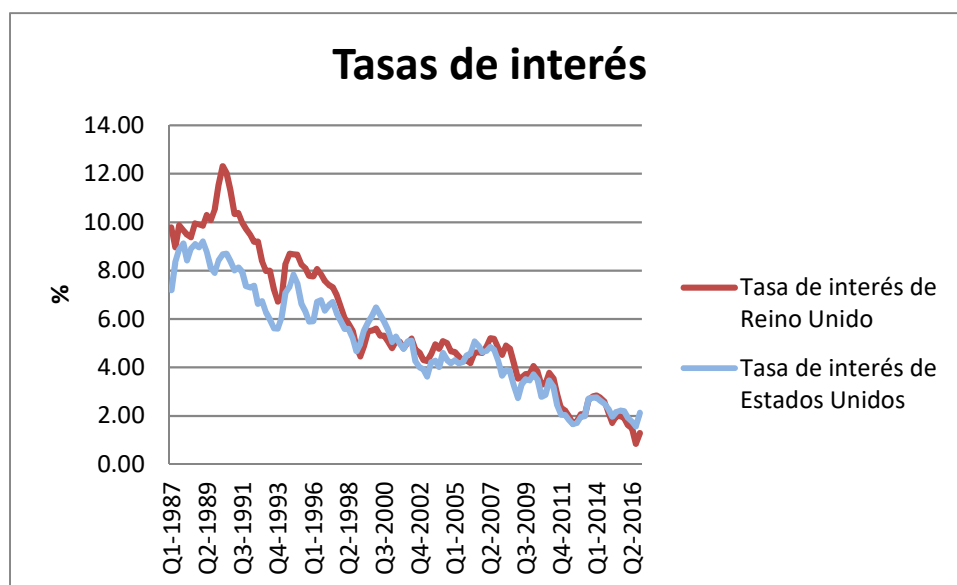
Las tasas de interés representan el costo del dinero. El nivel de tasa de interés afectará la demanda de crédito en la economía. También puede ser vista desde la perspectiva de Keynes en la cual la tasa de interés es la recompensa de desprenderse del dinero en efectivo (citado en Villegas, 2012).

Las tasas de interés británicas, así como las estadounidenses, han mostrado un comportamiento similar, ambos con tendencia a la baja a lo largo de 1987 a 2016. En 1987 las tasas británicas eran en promedio de 9.57% mientras que las estadounidenses eran de 8.38%. Para 2016 llegaron en promedio a 1.30% y 1.84% respectivamente lo cual puede observarse en la Gráfica 7.

La volatilidad de las tasas de interés para ambos países había oscilado en no más del 20%, sin embargo, a partir de 2011 rebasan ese porcentaje. Se debe mencionar que a través de los años la volatilidad de ambas tasas de interés ha ido en aumento. Las tasas muestran una desviación estándar de 2.81 y 2.14 respectivamente a lo largo del periodo.

Determinantes económicas-financieras del precio del oro de 1987 a 2016: Una propuesta usando redes neuronales

Gráfica 7. Tasas de interés históricas de Estados Unidos y Reino Unido



Fuente: Ramírez (2017), con datos de OECD <http://stats.oecd.org>

Jiménez (2014) observó que en 1980 los precios del mercado de *commodities*, que engloban oro y petróleo, cayeron en general debido al aumento de las tasas de interés en los Estados Unidos de ese año. Solnik (1993) menciona también esta relación inversa debido a que eleva el costo de oportunidad de poseer oro. Y, aunque mediante gráficas históricas no se puede observar fácilmente que variables muestran comportamientos opuestos al del oro si se puede apreciar que mientras el precio del oro sube, las tasas de interés descienden.

Letras del Tesoro de Estados Unidos y Tasas Libor de Reino Unido

Las letras del tesoro son títulos o activos de renta fija emitidos a descuento por parte de la Reserva Federal de Estados Unidos, regularmente a través de subastas. Estos títulos o activos son presentados comúnmente a vencimientos de 3, 6, 12 o 18 meses (Eumed, 2017).

Las Tasas Libor por otro lado son tasas interbancarias (*London Interbank Offered Rate*) que indican la tasa promedio a la cual un banco puede obtener financiamiento en el Mercado de Londres (Duarte, 2012). Estas tasas son publicadas actualmente por *ICE Benchmark Administration*.

Las letras del Tesoro de Estados Unidos y las Tasas Libor de Reino Unido han presentado un comportamiento casi exacto. La política económica de ambos países

Determinantes económicas-financieras del precio del oro de 1987 a 2016: Una propuesta usando redes neuronales

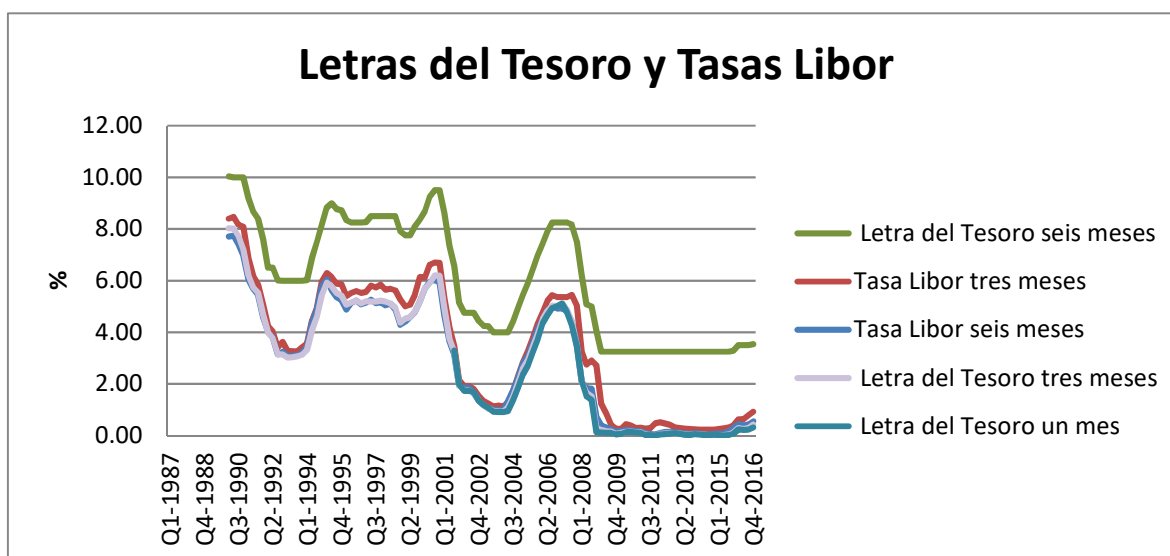
muestra sincronía ya que todas las Letras del Tesoro (a uno, tres y seis meses) así como las Tasas Libor (a tres y seis meses) presentan el mismo patrón con tendencia descendente, con altibajos desde 1990 a 2009 y la misma lateralidad a partir de 2009 a 2016 como puede observarse en la Gráfica 8.

Entre las letras del tesoro la más volátil es la tasa a un mes. Las letras a un mes y tres meses muestran una volatilidad similar; mientras, la volatilidad de las letras a seis meses es diez veces menor a las letras de un mes y tres meses.

Respecto a las tasas Libor, aunque la tasa a seis y tres meses presentan volatilidades y desviaciones similares, la más volátil es la de seis meses.

Se puede observar en la Gráfica 1 y 8 que mientras los precios del oro ascienden, las Letras del Tesoro y Tasas Libor descienden.

Gráfica 8. Tasas Libor y Letras del Tesoro históricas



Fuente: Ramírez (2017), con datos de INEGI <http://www.inegi.org.mx/sistemas/bie/>

Schulze-Roebbecke (2016) busca relacionar las letras del Tesoro de Estados Unidos y el precio del oro. Él toma el índice de los bonos del Tesoro de Estados Unidos a 3 meses junto a variables como el índice *Baltic Dry*, futuros sobre una canasta de dólares, el índice S & P 500 para pronosticar los precios del oro, pero sin éxito.

Anuncios macroeconómicos

Determinantes económicas-financieras del precio del oro de 1987 a 2016: Una propuesta usando redes neuronales

La macroeconomía aparte de estudiar los agregados también estudia que determina el nivel de la renta nacional y el crecimiento económico, así como empleo; emitiéndose anuncios sobre esta materia de manera periódica (Eumed, 2017).

Sherman y Cai et al. (2001) mencionan que los informes acerca del empleo, PIB e ingresos personales reflejan la actividad económica y tasa de crecimiento en la producción lo que a su vez se reflejan en el mercado del oro (citado en Cai et al., 2001). Cai et al. (2001) encuentran que estos anuncios tienen un impacto significativo sobre la volatilidad del mercado de oro. Sin embargo, hallan que estos anuncios tienen mayor impacto en los bonos del tesoro y en el mercado Forex que en el mercado del oro.

Empleo y desempleo de Estados Unidos y Reino Unido

La medida de empleo muestra cuantos miles personas mayores a quince años se hallan laborando de acuerdo con registros de cada país.

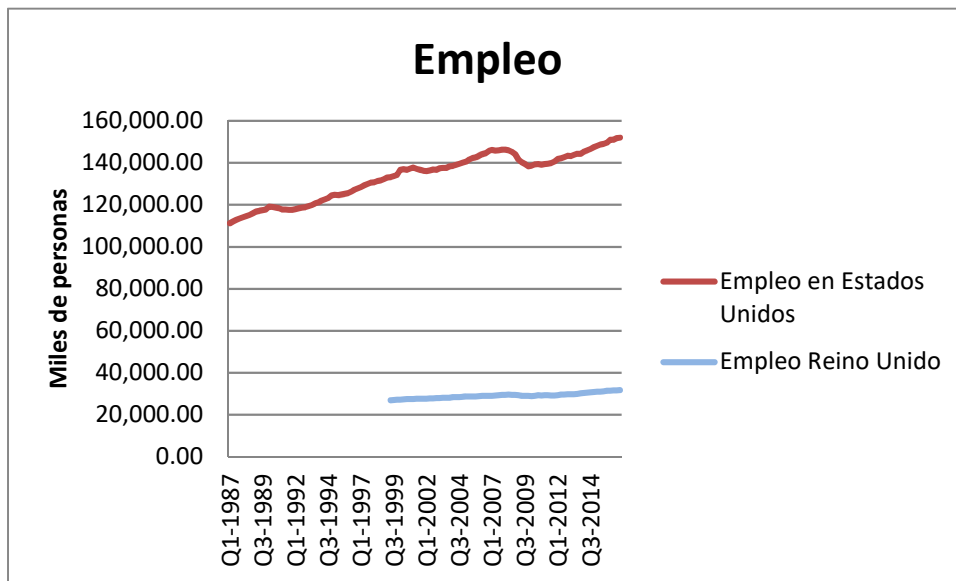
El empleo para Estados Unidos como para Reino Unido ha mostrado una tendencia al alza, la pendiente ha sido más inclinada para Estados Unidos la cual guarda una proporción de cinco veces más personas empleadas que en Reino Unido. Ambos países alcanzan sus máximos históricos en 2016; 152,020.3 para Estados Unidos y 31,743.68 para Reino Unido como puede observarse en la Gráfica 9. En la misma gráfica se puede apreciar que el empleo en Estados Unido tiene una racha a la baja entre 2008 y 2009. Esta racha no se ve reflejada en el empleo de Reino Unido, es decir, el factor que lleva al descenso en el empleo estadounidense no repercute en el empleo británico.

La tasa del desempleo por otro lado mide el porcentaje de gente mayor a quince años que se encuentra sin empleo.

La tasa de desempleo estadounidense y británica no tienen comportamientos similares; aunque, ambos no muestran una tendencia definida a lo largo del periodo de 1987 a 2016. En 1992 y 2009 Estados Unidos alcanza sus tasas más altas, 7.63% y 9.93% respectivamente. Reino Unido alcanza la suya en 2011 con un 8.32% como se puede observar en la Gráfica 10.

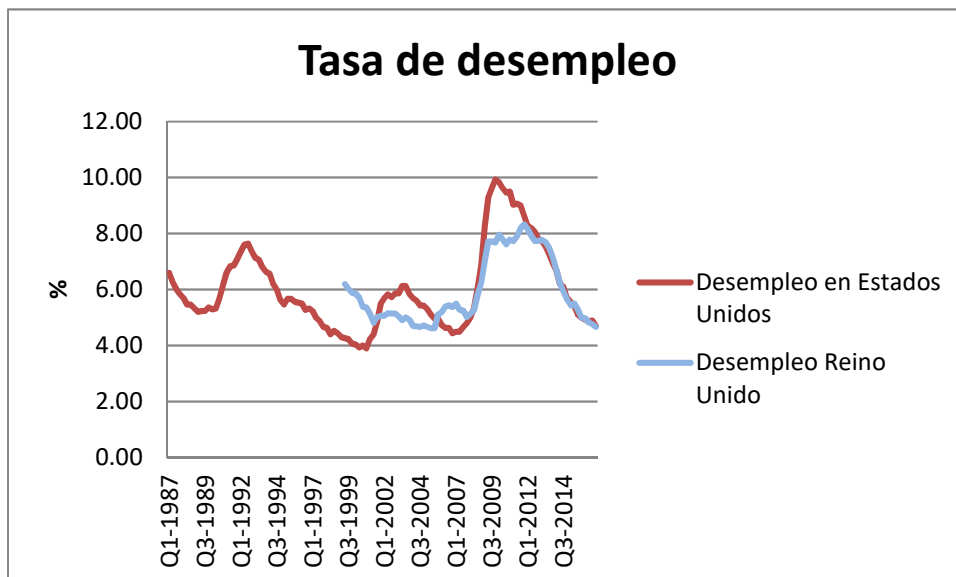
Determinantes económicas-financieras del precio del oro de 1987 a 2016: Una propuesta usando redes neuronales

Gráfica 9. Empleo histórico en Estados Unidos y Reino Unido



Fuente: Ramírez (2017), con datos de OECD <http://stats.oecd.org>

Gráfica 10. Tasa de desempleo histórico en Estados Unidos y Reino Unido



Fuente: Ramírez (2017), con datos de OECD <http://stats.oecd.org>

Determinantes económicas-financieras del precio del oro de 1987 a 2016: Una propuesta usando redes neuronales

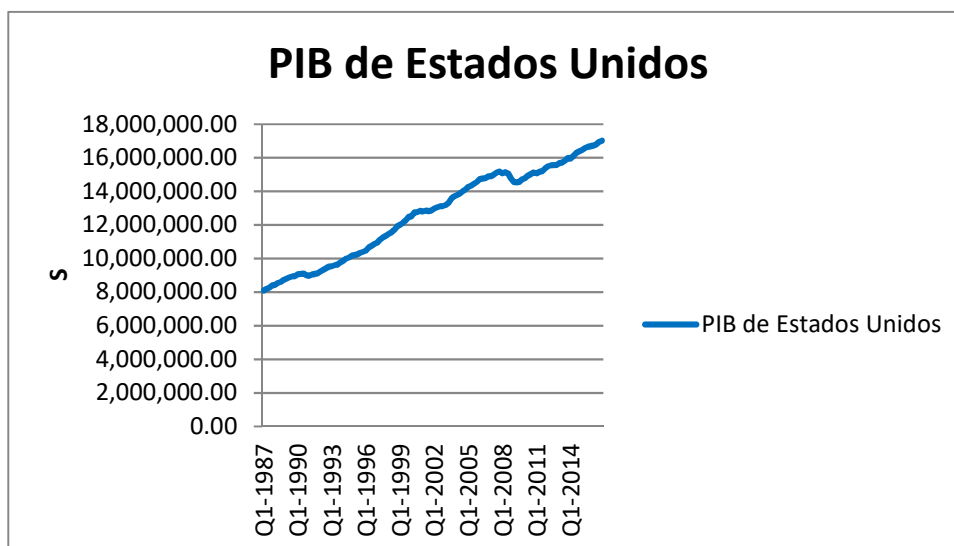
Producto Interno Bruto (PIB)

EL PIB es el valor total de bienes y servicios que se producen en un país en un periodo determinado, aunque, también la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OECD por sus siglas en inglés) define al PIB como el valor agregado producido en un país, considerando el origen de los factores de producción (citado en Reyes, 2006).

De 1987 a 2016 el PIB de Reino Unido y de Estados Unidos ha incrementado su valor mostrando para ambos países una tendencia al alza. Más pronunciada para Estados Unidos que para Reino Unido. Ambos tocan sus máximos puntos históricos en 2016 con 2,545,994 y 17,018,692 respectivamente como puede observarse en la Gráfica 11 y Gráfica 12.

La volatilidad del PIB de Reino Unido ha oscilado en el 10%, en tanto, Estados Unidos ha tenido una volatilidad de 15%. Sin embargo, ambos países durante el último trimestre de 2008 alcanzaron una volatilidad de más del 20%.

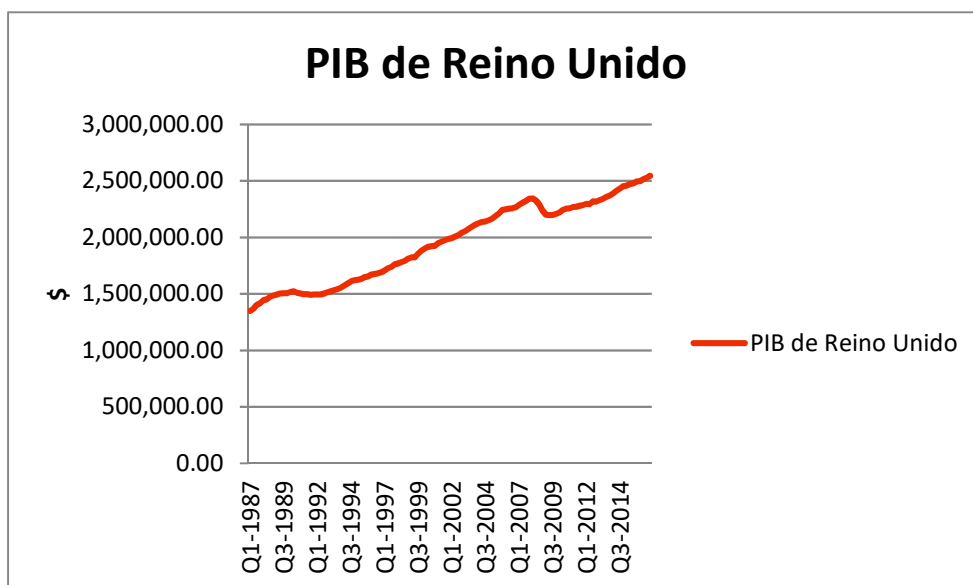
Gráfica 11. Producto Interno Bruto histórico de Estados Unidos



Fuente: Ramírez (2017), con datos de OECD <http://stats.oecd.org>

Determinantes económicas-financieras del precio del oro de 1987 a 2016: Una propuesta usando redes neuronales

Gráfica 12 Producto Interno Bruto histórico de Reino Unido



Fuente: Ramírez (2017), con datos de OECD <http://stats.oecd.org>

Índice de Precios al Consumidor

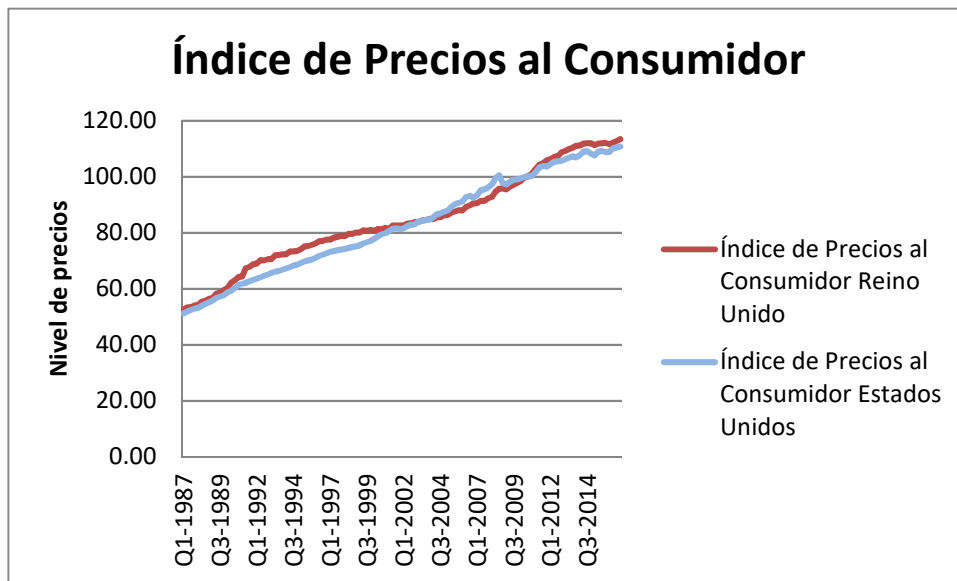
El CPI (por sus siglas en inglés) mide los cambios en los precios pagados por los consumidores para una canasta que representa bienes y servicios (BLS, 2017).

Los índices de Precios al Consumidor de Reino Unido y Estados Unidos muestran un comportamiento, tendencia y volatilidad similar durante todo el periodo de 1987 a 2016. Tanto el índice de precios de Reino Unido como el de Estados Unidos muestran una tendencia sostenida al alza. Estados Unidos muestra una pendiente más recta que la de Reino Unido. Ambos sus máximos en 2016 con 113.49 y 110.75 respectivamente.

Sin embargo, las volatilidades de ambos países en cuanto a los precios del consumidor varían, siendo la de Reino Unido la de mayor fluctuación puesto que tiene 0.6468% en promedio con una desviación estándar del 0.7214% y la de Estados Unidos es de 0.6484% con 0.6173% de desviación estándar.

Determinantes económicas-financieras del precio del oro de 1987 a 2016: Una propuesta usando redes neuronales

Gráfica 13. Índice histórico de Precios al Consumidor



Fuente: Ramírez (2017), con datos de OECD <http://stats.oecd.org>

Levin & Wright (2006) mencionan que el precio del oro y el nivel de precios de Estados Unidos parecen moverse juntos en una relación a largo plazo. Ellos apoyan la opinión que un aumento de un por ciento en el nivel de precios general de los EEUU conduce a un aumento de un por ciento en el precio del oro.

Determinantes económicas-financieras del precio del oro de 1987 a 2016: Una propuesta usando redes neuronales

Reservas internacionales

Las reservas es la cantidad de oro y divisas que posee un país principalmente para hacer frente a sus compromisos internacionales. Las reservas se incrementan o disminuyen de acuerdo con los saldos netos del comercio internacional. Lo que conforma la reserva debe ser aceptado como medio de pago internacional para considerarse como reserva (Eumed, 2017).

Tradicionalmente las reservas internacionales eran constituidas por el oro, pero con el tiempo se empezó a aceptar reservas de papel moneda como lo han sido históricamente la libra esterlina de Inglaterra y el dólar de los Estados Unidos (Eumed, 2017).

Reservas sin tomar en cuenta oro

La tendencia de las reservas tanto británicas como estadounidense había sido lateral hasta 2009. Ese año las reservas se incrementaron considerablemente; Reino Unido las fue incrementado de manera paulatina en no más de 28% anual mientras Estados Unidos lo hizo de manera drástica aumentando un 47% de 2008 a 2009.

Estados Unidos y Reino Unido alcanzaron sus máximas reservas con 142,034 millones de dólares en 2012 y 132,275 millones de dólares en 2016 respectivamente.

Las reservas estadounidenses habían sido mayores a las británicas de 1987 a 2015; sin embargo, durante ese año las reservas estadounidenses descendieron y llegaron a ser menores a las británicas situación que se ha mantenido hasta finales de 2016.

Al igual que el precio del petróleo, las reservas sin tomar en cuenta oro, tanto las británicas como las estadounidenses, han mostrado un comportamiento similar al del oro.

Determinantes económicas-financieras del precio del oro de 1987 a 2016: Una propuesta usando redes neuronales

Gráfica 14. Reservas históricas sin oro



Fuente: Ramírez (2017), con datos de FMI <http://data.imf.org>

Reservas de oro (Millones de Onzas Troy)

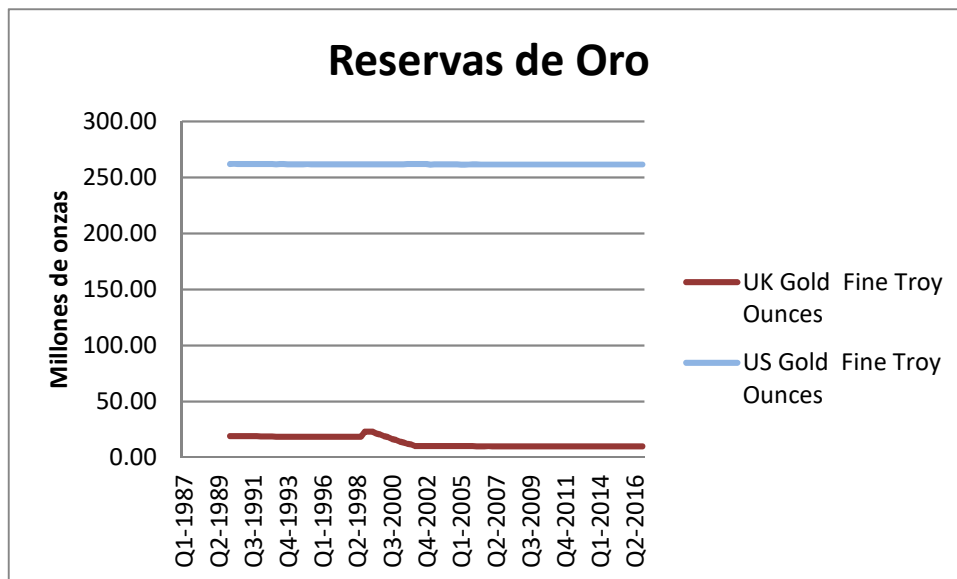
Las reservas de oro de Reino Unido habían mostrado tendencia descendente hasta 1998, durante ese año incrementó sus reservas en oro llegando a su máximo histórico de 22.996 millones de onzas troy. En años posteriores las reservas de oro descendieron hasta tocar 9.97 millones de onzas troy en 2009 y a partir de ese año las reservas se han mantenido estáticas.

Las reservas de oro de Estados Unidos se muestran prácticamente constantes a lo largo de 1987 a 2006. En promedio, las reservas de oro han sido 261.64 millones de onzas troy. Sólo de 2001 a 2003 se suscita un ascenso en las reservas hasta llegar a 262 millones de onzas troy. La volatilidad de las reservas de Estados Unidos ha sido mínima, ya que sus mayores volatilidades en 2001 y 2006 no superan el 0.15%.

Por el contrario, las reservas de Reino Unido han mostrado una volatilidad de más del 20% y 10% en 1998 y 2002.

Determinantes económicas-financieras del precio del oro de 1987 a 2016: Una propuesta usando redes neuronales

Gráfica 15. Reservas históricas de oro



Fuente: Ramírez (2017), con datos de FMI <http://data.imf.org>

Respecto a las reservas, Cai et al. (2001) encuentra que al analizar los rendimientos más altos del oro y al tratar de asociarlos con los anuncios macroeconómicos, 6 de los 25 rendimientos más altos se asocian con las ventas de reservas de oro por parte de los bancos centrales. Dos ejemplos de esta situación son cuando el gobierno de Suiza afirmó su plan de vender 400 toneladas de oro en un periodo de 10 años y después de que la reserva de Australia hiciera pública la venta de 167 toneladas de oro (Cai et al., 2001).

También, Septien (1988) al construir su modelo de predicción establece que las reservas internacionales es una de las variables que afectan el precio del oro.

Determinantes económicas-financieras del precio del oro de 1987 a 2016: Una propuesta usando redes neuronales

Inflación Internacional

"La inflación consiste en un aumento general del nivel de precios que obedece a la pérdida de valor del dinero". (Eumed, 2017).

Una de las situaciones que puede causar inflación es cuando la oferta monetaria es mayor que la oferta de bienes y servicios. Pues significaría que hay más dinero a disposición de la gente lo que puede provocar que la gente esté dispuesta a pagar más por un bien o servicio ocasionando que se eleve el precio de este bien o servicio (Eumed, 2017).

Rivero-Borrell (1990) menciona que la inflación internacional se encuentra entre una de las variables que afectaban el precio del oro. Cai et al. (2001) también la sitúa entre uno de los factores que contribuyeron al movimiento en el precio del oro, la cual, afectó especialmente durante el periodo de 1996 y 1997 cuando el precio del oro descendió hasta un 23% anual.

Inflación de la OECD

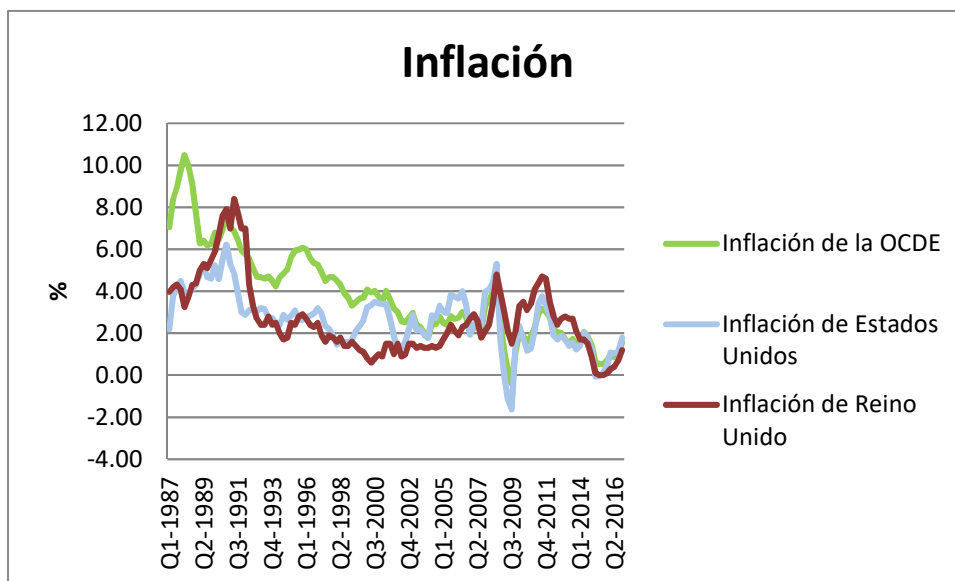
La Organización para la Cooperación y Desarrollo Económicos (OECD) fue fundada en 1961 con el objetivo de promover políticas que mejoren el bienestar tanto económico como social actualmente agrupa treinta y cinco países miembros. Esta organización publica un índice de inflación que engloba a los países miembros donde cada uno de ellos tiene un peso dentro de este índice. Los mayores pesos corresponden a Reino Unido y Estados Unidos seguido de lejos por Japón y Alemania (OECD, 2017).

La tendencia de la inflación en la OECD ha sido a la baja durante todo el periodo de 1987 a 2016 teniendo como punto máximo el 10.48 % de inflación en 1988 y el punto mínimo de menos 0.41% en 2009.

La volatilidad de la inflación ha oscilado en un 20%. Aunque, el rango de esta oscilación ha sido mayor con el paso de los años alcanzando un 50%. En los años 2009, 2010 y 2015 alcanza sus puntos más altos de volatilidad, siendo el año 2009 donde presenta el punto más alto de 76% como puede observarse en la Gráfica 16.

Determinantes económicas-financieras del precio del oro de 1987 a 2016: Una propuesta usando redes neuronales

Gráfica 16. Tasas históricas de inflación de la OECD, Estados Unidos y Reino Unido



Fuente: Ramírez (2017), con datos de OECD <http://stats.oecd.org>

Inflación de Estados Unidos y Reino Unido

El comportamiento de la inflación de Estados Unidos y Reino Unido ha sido errático a lo largo del periodo de 1987 a 2016 aunque se podría apreciar cierta tendencia a la baja en ambos como se puede ver en la Gráfica 16.

La inflación de Estados Unidos toca su punto máximo de 5.28% en 1991. En el mismo año Reino Unido alcanza su máximo de 8.4%.

La inflación de Estados Unidos toca su punto mínimo de -1.62% en 2009, es decir se presenta desinflación. A diferencia de Estados Unidos, la inflación británica nunca toca puntos negativos, ni en 2009.

La volatilidad en la inflación de Reino Unido ha sido menor que la de Estados Unidos, cabe agregar que la inflación de Estados Unidos ha mostrado una volatilidad cada vez mayor a través de los años. El punto de volatilidad más alto de la inflación de Estados Unidos es de 300% en 2009 mientras que la de Reino Unido es de más del 219% en 2015.

Además de Rivero-Borrell (1990) y Cai et al. (2001), Kristjanpoller & Minutolo (2014) encuentra relación entre el mercado de metales con la inflación, aunque esta relación es menor a la que tiene el oro con el precio del petróleo.

Solnik (1993) menciona que el precio del oro tiende a subir cuando la inflación se acelera y bajan los precios accionarios. Él se basa en que los precios del oro tienen un mejor desempeño que otras inversiones durante periodos de inflación acelerada.

Determinantes económicas-financieras del precio del oro de 1987 a 2016: Una propuesta usando redes neuronales

Solnik (1993) agrega que el oro se utiliza a largo plazo como instrumento de cobertura y a corto plazo para especular. También menciona que el oro ha servido como cobertura ante inflación y devaluación monetaria.

Levin & Wright (2006) mencionan que podría haber una relación positiva entre los movimientos de los precios del oro y los cambios en la inflación estadounidense. Pero hallan sobre la base del análisis empírico que no hay relación significativa entre los cambios en el precio del oro y los cambios en la inflación mundial, la volatilidad de la inflación mundial, los ingresos mundiales y la beta del oro. Debe agregarse que entre las variables que mayor volatilidad han presentado se encuentra la tasa de inflación de Estados Unidos pues muestra una aceleración por arriba del 5%.

Determinantes económicas-financieras del precio del oro de 1987 a 2016: Una propuesta usando redes neuronales

Oferta de oro nuevo

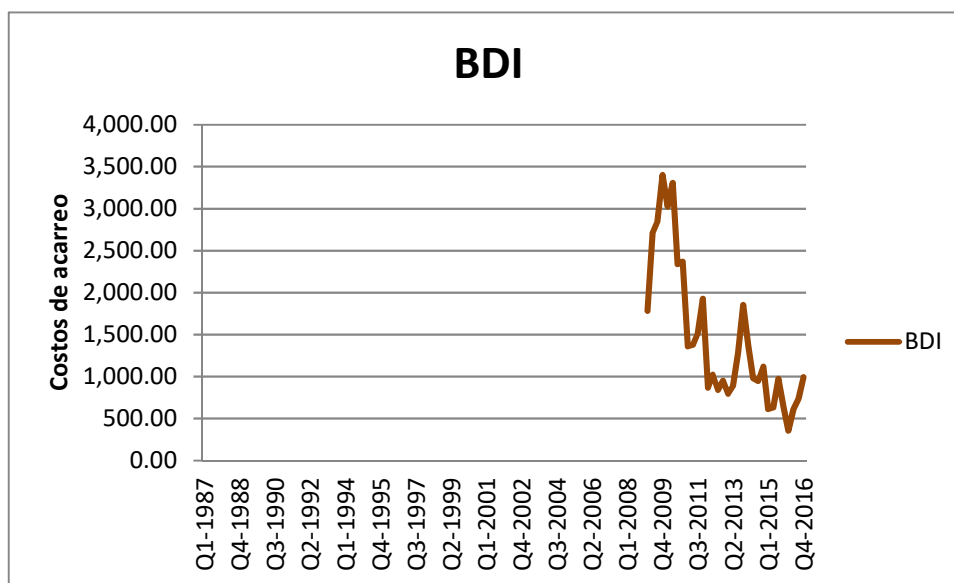
Oferta se define como la cantidad de una mercancía o servicio que entra en el mercado a un precio dado en un momento determinado (Eumed, 2017).

Urich (2000) dice que la oferta no está estrechamente ligada al precio de la producción actual de oro. Schulze-Roebecke (2016) no pudo predecir los precios de los futuros del oro a partir del Baltic Dry Index y otras variables. A pesar de esto, se toma este índice para representar la oferta de oro ya que mide el precio de acarreo a través del mar de las principales materias primas como lo son los metales, granos y combustibles. Este índice fue creado por el *London Baltic Exchange* basándose en la información diaria proveniente de un panel de *shipbrokers* (Quandl, 2017).

El Índice *Baltic Dry* históricamente ha mostrado una tendencia bajista desde 2009 a 2016 implicando que los costos de acarreo han disminuido. El índice tiene repuntes al alza en 2009 y 2010, siendo estos de 3,400 y 3,306. De 2006 a la fecha, el valor más bajo ha sido en 2016; 357 como puede verse en la Gráfica 17.

Su volatilidad ha oscilado en un 60%. En 2012 rompe este rango al alcanzar una variación del 80%.

Gráfica 17. Valores históricos del índice Baltic Dry



Fuente: Ramírez (2017), con datos de QUANDL
<https://www.quandl.com/data/LLOYDS/BDI-Baltic-Dry-Index>

En resumen, dentro de los factores macroeconómicos se han identificado variables que parecen afectar al precio del oro. Hasta el momento, se ha mencionado que las

Determinantes económicas-financieras del precio del oro de 1987 a 2016: Una propuesta usando redes neuronales

tasas de interés, Letras del Tesoro tienen una influencia inversa al precio del oro; el índice de precios al consumidor parece moverse junto al precio del oro a largo plazo; las reservas e inflación parecen afectar precio del oro. Y, aunque se encuentra que el Baltic Dry index no influye en el precio del oro, se toma en cuenta para cotejar que efectivamente es irrelevante.

Determinantes económicas-financieras del precio del oro de 1987 a 2016: Una propuesta usando redes neuronales

II. 3 Tensiones políticas y el oro

El tercer grupo de factores influyentes son las tensiones políticas, ya que, estas generan inestabilidad política internacional y, a su vez, conducen a la inversión en oro para así cubrir o reemplazar inversiones más riesgosas (Lili & Chengmei, citados en Gutiérrez et al., 2013).

Esto, de cierta manera, es confirmado por Septien (1988) quien a través de su modelo encuentra que el nivel de tensión política afecta el precio del oro. Dentro de las tensiones políticas, la más asociada al precio del oro es la crisis. Entendiéndose la palabra crisis como el punto en que cesa bruscamente la expansión económica o se presenta una aguda recesión (Eumed, 2017).

Cai et al. (2001) encuentran que los factores que contribuyen al movimiento del precio del oro son las crisis, mencionando la asiática, la tensión en Sudáfrica y el escándalo Bre-X en 1994. Solnik (1993) menciona que se considera al oro como cobertura ante la inflación y crisis sociales pues se puede negociar con facilidad en el mundo y su valor real aumenta durante estas situaciones críticas. También ejemplifica esta situación con la crisis accionaria en Estados Unidos de 1929 a 1932 y el derrumbe de la bolsa de valores de Londres de 1973 a 1975.

Emmrich & McGroarty (2013) en su estudio hallan que entre 1980 y 1990 el oro tiene rendimientos menores al de las acciones. Sin embargo, esta relación se revierte para el período de los 2000's, puesto que los rendimientos del oro aumentan después de la crisis de 2007. Y, se observa que sus rendimientos fueron impulsados hacia arriba debido a este suceso.

Chen et al. (2016) trata de explicar que esta crisis fue empujada por los inversionistas que no estaban optimistas en cuanto a los bienes raíces y mercado financiero por lo cual el dólar se depreció causando que tanto los precios del petróleo como los del oro se incrementaran afectando la inflación global. El Hedi Aroui et al. (2015) y Mostafa & El Masry (2016) concuerdan en que el oro es un refugio cuando el mercado de valores está en crisis. Levin & Wright (2006) también menciona la posible relación entre los movimientos de los precios del oro y la volatilidad riesgo crediticio.

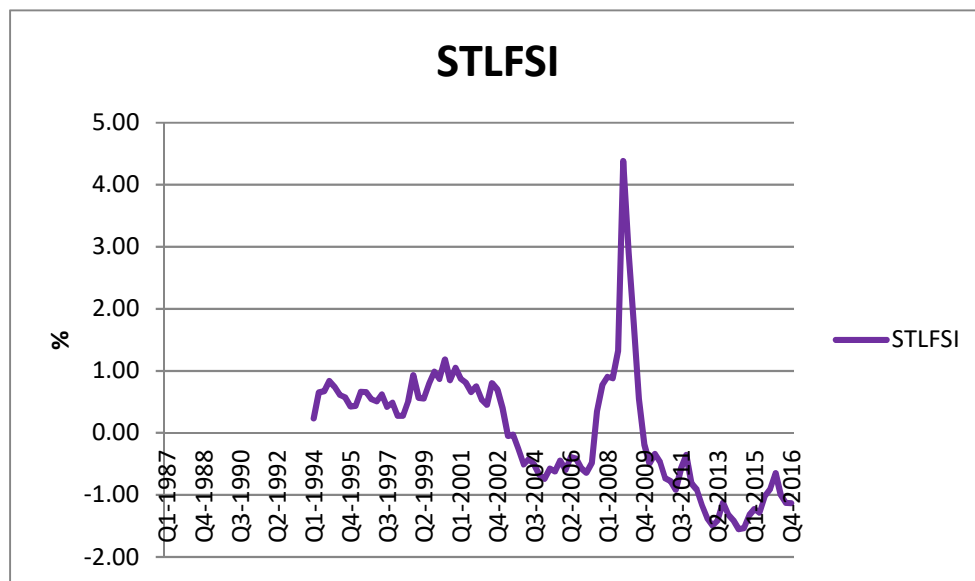
Para representar esta tensión política y crisis se toma como variable al Índice de St. Louis Fed Financial Stress Global Financial Stress (STLFSI) puesto que mide el grado de estrés financiero en los mercados. Este índice está diseñado para ser cero. Es decir, el cero puede ser interpretado como un reflejo de un mercado en condiciones normales. Valores por debajo de cero representan un estrés financiero y de manera contraria, valores por arriba de cero indican alto estrés financiero en el mercado (Fred, 2017).

La tendencia del índice STLFSI se ha observado a la baja indicando que el estrés es más bajo que el promedio. Su promedio general a lo largo de 1994 a 2016 es de

Determinantes económicas-financieras del precio del oro de 1987 a 2016: Una propuesta usando redes neuronales

0.0132 con una desviación estándar general de .9891. Esta desviación estándar la rebasa en varias ocasiones: en el año 2000 el índice toca 1.184%; en 2008, 4.381%; en 2009, 2.902%; en 2011, -0.915%. A partir de 2011, el índice desciende año tras año. La volatilidad de este índice ha estado contenida dentro del 100%, sólo rebasa este porcentaje en 2003 y 2009 cuando desciende y repunta el estrés financiero de acuerdo al índice.

Gráfica 18. Tasas históricas del STLFISI



Fuente: Ramírez (2017), con datos de FRED <https://fred.stlouisfed.org>

El índice STLFISI es la variable que hasta ahora ha tenido mayor volatilidad puesto que alcanza las variaciones más altas tanto al alta y a la baja mostrando tasas con una aceleración por arriba del 5%.

En resumen, se ha identificado a la variable STLFISI como aquella que mejor representa a la crisis financiera.

Determinantes económicas-financieras del precio del oro de 1987 a 2016: Una propuesta usando redes neuronales

II. 4 El Mercado Forex y el oro

El cuarto grupo de factor influyente es el Mercado Forex. Este factor es incluido a la clasificación de Lili & Chengmei debido a estudios que apoyan que los tipos de cambio afectan al movimiento en el precio del oro (citado en Gutiérrez et al., 2013).

El tipo de cambio es el precio de una moneda en términos de otra. El tipo de cambio orienta las transacciones internacionales de bienes, capital y servicios. Siendo todavía el dólar de los Estados Unidos la divisa más importante que se utiliza como referencia para medir el valor de las divisas restantes (Eumed, 2017).

A continuación, se describen las divisas que han sido relacionadas con el precio del oro empezando por euro-dólar, yen-dólar y peso-dólar.

Tipo de cambio euro dólar (EURUSD)

El euro-dólar es la tasa de intercambio en la cual el valor del dólar americano es comparado con el euro, la actual moneda de la Unión Europea. Si el valor del euro se fortalece versus el dólar entonces la tasa de cambio del eurodólar descenderá y viceversa.

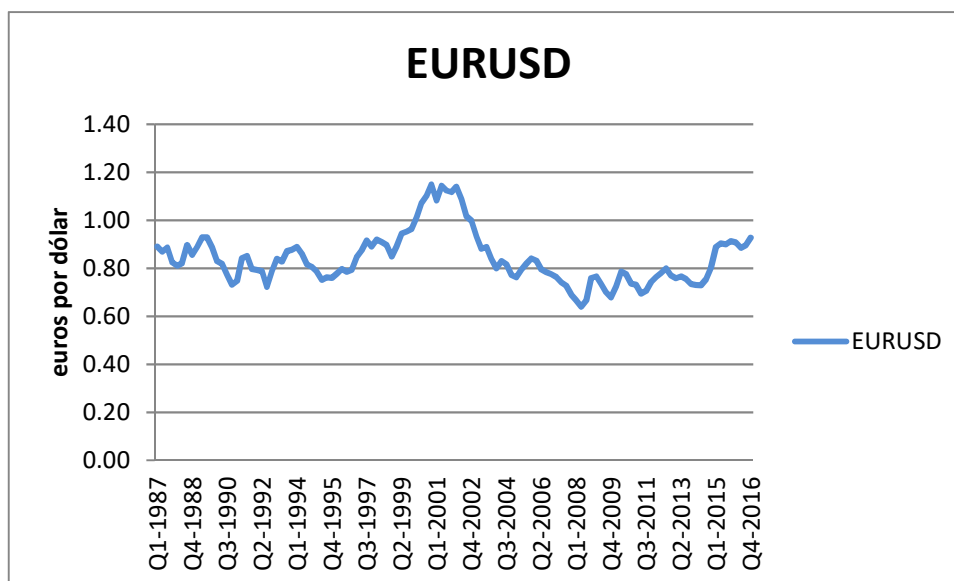
El dólar respecto al euro ha mostrado un comportamiento lateral con una tendencia ligeramente a la baja a través de 1987 a 2016, manteniéndose en un promedio general de 0.84 euros por dólar con una desviación estándar de 0.11 euros. Sólo durante el periodo de 1999 a 2001 el euro-dólar tiene una racha alcista, es decir, se devalúa el euro respecto al dólar, alcanzando su mínimo valor histórico en 2001 puesto que se tenía que pagar 1.14 euros por dólar. Después de 2002 vuelve a su promedio general con su comportamiento a la baja como se puede observar en la Gráfica 19.

La volatilidad usualmente no ha rebasado el 10%; sin embargo, en 1991 y 2008 rebasa este porcentaje.

Malliaris & Malliaris (2013) encuentran que el precio del oro tiende a incrementarse cuando el euro se aprecia frente al dólar, pero no hallan suficiente evidencia de que estas dos variables tengan una relación de largo plazo.

Determinantes económicas-financieras del precio del oro de 1987 a 2016: Una propuesta usando redes neuronales

Gráfica 19. Tipo de cambio histórico EURUSD



Fuente: Ramírez (2017), con datos de CAPITAL IQ <https://www.capitaliq.com>

Tipo de cambio yen dólar (JPYUSD)

El dólar, respecto al yen, a lo largo de 1987 a 2016 se ha devaluado, pues, año tras años disminuye la diferencia de cambiar yenes por dólares. Es decir, la moneda japonesa se ha fortalecido ante el dólar. El precio promedio general de yenes por dólares ha sido de \$113 U.S. con una desviación estándar de 17.37.

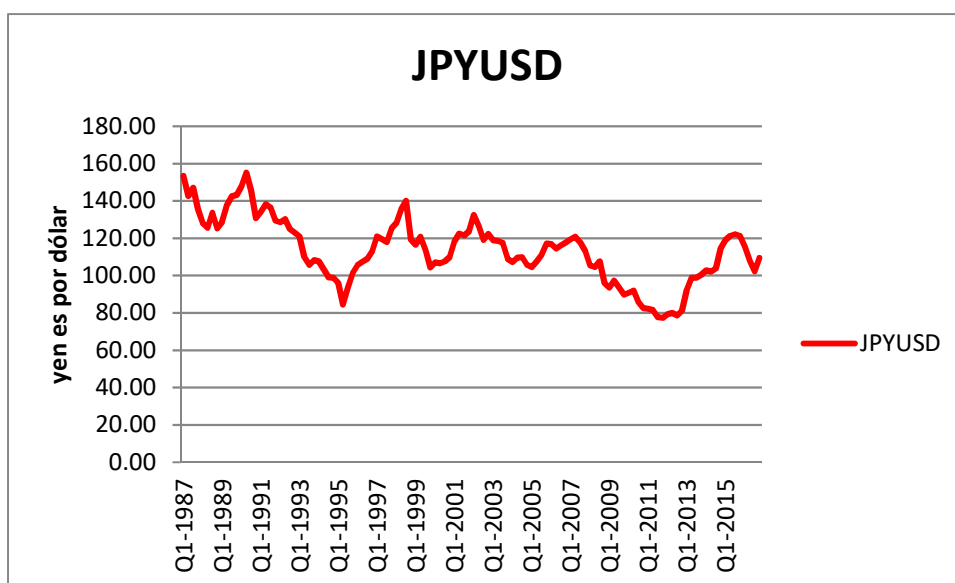
Existen periodos donde el yen-dólar supera esta desviación estándar: En 1990 se debía pagar 155 yenes por dólar, el precio más alto históricamente; en 1995, 84 yenes; y en 2011, 77 yenes por dólar el precio más bajo históricamente.

La volatilidad del yen-dólar ha fluctuado un 10% sólo superándolo en 1995, 1998 y 2013.

Kristjanpoller & Minutolo (2015) incluyen este tipo de cambio en su modelo de pronóstico RNA-GARCH descubriendo que al incluirlo junto al Dow Jones, petróleo FTSE y euro dólar se obtienen mejores resultados en un pronóstico de 21 días de volatilidad. Ellos mismos encuentran que su modelo pronostica eficientemente a 14 días si son dejadas de lado el índice Dow Jones y precios del petróleo.

Determinantes económicas-financieras del precio del oro de 1987 a 2016: Una propuesta usando redes neuronales

Gráfica 20. Tipo de cambio histórico JPYUSD



Fuente: Ramírez (2017), con datos de CAPITAL IQ <https://www.capitaliq.com>

Tipo de cambio dólar peso (MXNUSD)

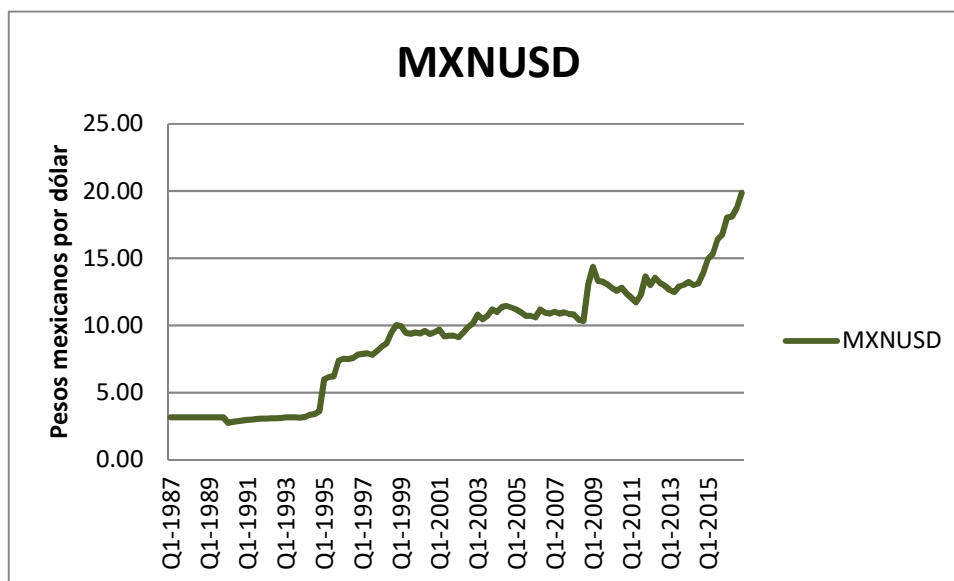
El dólar respecto al peso mexicano había mostrado una tendencia lateral de 1987 a 1994. Sin embargo, a partir de 1995 al 2016 muestra una tendencia alcista, es decir, se puede observar que cada vez se necesitan más pesos mexicanos para adquirir un dólar estadounidense. Hubo tres periodos donde el peso se devaluó de manera considerable: de 1994 a 1995 el peso se devaluó un 90% llegando a pagar siete pesos por dólar, de 2008 a 2009 un 21% y de 2014 a 2016 un 40% pagando más de 19 pesos por dólar.

La volatilidad de peso-dólar ha sido mixta, si bien se ha mantenido en el 17% hubo dos periodos donde su volatilidad ha superado el promedio: en 1995 y 2008. Años en los que la desviación estándar era de 0.63 y 1.29 respectivamente.

A pesar de que, Septien (1988) dice que no hubo relevancia del dólar sobre el oro en su modelo. Rivero Borrell (1990) por otro lado menciona que existía una relación y que esta es positiva. Además, Camacho (2015) a través del tipo de cambio peso-dólar puede predecir los precios de la plata al tomar datos de enero de 1984 hasta 2010. Siendo, la plata un metal semiprecioso altamente relacionado con el oro.

Determinantes económicas-financieras del precio del oro de 1987 a 2016: Una propuesta usando redes neuronales

Gráfica 21. Tipo de cambio histórico de MXNUSD



Fuente: Ramírez (2017), con datos de CAPITAL IQ <https://www.capitaliq.com>

Dólar americano

Tully y Lucey (2007) hallan que el dólar por sí mismo explica principalmente el comportamiento del precio del oro. Y, Levin & Wright (2006) encuentran que esta relación es negativa entre los cambios en el precio del oro y los cambios en el tipo de cambio en Estados Unidos cuando analizan el ponderado por el dólar en dólares y la tasa de arrendamiento de oro.

Levin & Wright (2006) trata de dar explicación a esta relación entre el precio del oro y los tipos de cambio diciendo que la primera razón es que la depreciación del dólar empuja el precio del oro a la baja para los inversionistas que viven fuera de los Estados Unidos. Esto ocasionaría el aumento en la demanda de oro lo cual eleva de nuevo el precio en dólares de Estados Unidos. Esto se suma a la relación a largo plazo entre el nivel de precios y el precio del oro. La segunda razón es que la depreciación del dólar probablemente afecta a las tasas de inflación, lo cual, a su vez causa que el oro actúe como una cobertura ante esta inflación.

Por el contrario, Schulze-Roebbecke (2016) toma futuros sobre una canasta de dólares para predecir los precios de los contratos de oro, aunque sin éxito.

Para representar al dólar estadounidense en el presente estudio, se toma al índice dólar. El índice dólar es una medida del valor del dólar americano versus la canasta de monedas extranjeras donde el euro, yen, dólar canadiense, corona sueca y franco

Determinantes económicas-financieras del precio del oro de 1987 a 2016: Una propuesta usando redes neuronales

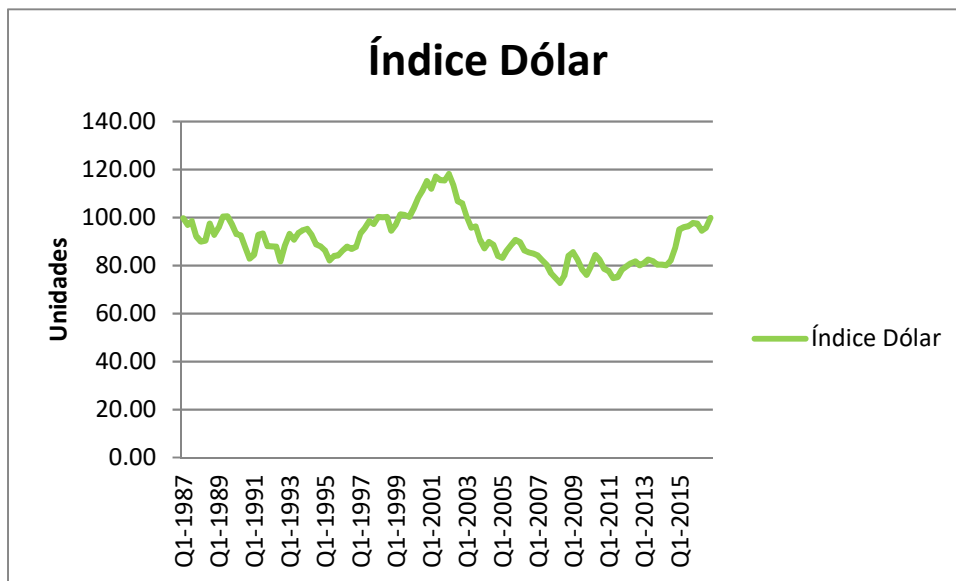
suizo están incluidas. El índice se incrementa cuando el valor del dólar americano se aprecia en comparación con las otras monedas y viceversa.

La tendencia del índice dólar a lo largo de 1987 a 2016 ha sido lateral tendiendo a la baja manteniéndose en un promedio general de 91 unidades con una desviación estándar de 10 unidades. Sólo durante el periodo de 1999 a 2002, el índice dólar tiene una racha alcista, es decir, el valor del dólar se aprecia versus el resto de las divisas que conforman la canasta, alcanzando su máximo valor de 118 unidades en 2002. Después de 2002 vuelve a su promedio general, sólo en 2007 supera su desviación estándar a la baja para tocar 72 unidades, la más baja hasta ahora.

En cuanto a su volatilidad, no ha superado el 10% y ha tocado sus puntos más volátiles en 1991 y 2008.

Determinantes económicas-financieras del precio del oro de 1987 a 2016: Una propuesta usando redes neuronales

Gráfica 22. Valores históricos del Índice Dólar



Fuente: Ramírez (2017), con datos de REUTERS mx.reuters.com

El índice dólar ha mostrado un comportamiento similar al del tipo de cambio Euro-dólar. Esto se puede atribuir a que el euro tiene mayor peso en la canasta de divisas. Les diferencia la volatilidad, que es más aguda en el euro-dólar que en el índice dólar.

Dentro del mercado forex se han identificado variables que parecen afectar al precio del oro. El dólar en sí mismo es la variable que más impacta de acuerdo con estudios anteriores. Es por eso que es una variable a incluir en el presente estudio, así como los tipos de cambio obtenidos del dólar, con el euro, yen y peso mexicano.

Determinantes económicas-financieras del precio del oro de 1987 a 2016: Una propuesta usando redes neuronales

Las variables que muestran un comportamiento parecido al precio del oro son el petróleo ya que muestra tendencias y rachas similares; también las reservas sin tomar en cuenta oro, tanto las británicas como las estadounidenses.

Las variables que muestran comportamientos opuestos al oro no pueden ser detectadas a simple vista; sin embargo, mientras el precio del oro asciende, las variables que descienden son: las tasas de interés, las letras del tesoro y tasas libor.

La variable que en promedio tiene mayor volatilidad es el índice STLFSI puesto que alcanza las variaciones más altas tanto al alta y a la baja. La segunda variable, en promedio, más volátil es la tasa de inflación de Estados Unidos. Ambas tasas muestran una aceleración por arriba del 5%. La estadística descriptiva de las variables económico-financieras, así como del oro puede ser consultada en la Tabla 7 dentro el apéndice.

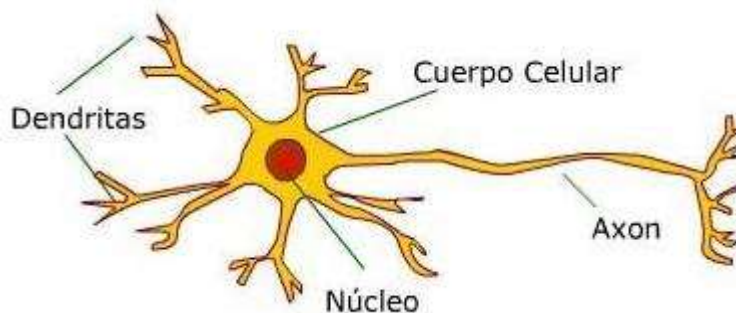
Para determinar el impacto que cada una de las variables económico-financieras tienen sobre el precio del oro se hace uso de redes neuronales artificiales.

Determinantes económicas-financieras del precio del oro de 1987 a 2016: Una propuesta usando redes neuronales

Capítulo III. Redes Neuronales Artificiales (RNA)

Las Redes Neuronales Artificiales (RNA) son modelos matemáticos basados en la conexión de las neuronas biológicas. Estas neuronas cuentan con tres partes fundamentales: dendritas, núcleo y axón como pueden ser observadas en la Ilustración 1. Las dendritas reciben impulsos nerviosos del exterior que canaliza al núcleo, el cual es el encargado de procesar y emitir nuevas señales que serán transmitidas a través del axón. El axón cuenta con ramificaciones en su extremo que sirven para conectarse con otras neuronas que realizarán el mismo proceso, ya que, estas recibirán, procesarán y emitirán señales. A este proceso de transmisión se le conoce como sinapsis. Ante un estímulo continuo y constante las neuronas almacenarán estas señales como experiencia (Villar, 2013).

Ilustración 1. Neurona biológica



Fuente: Educar Chile, 2013

Matich (2001) define la red neuronal artificial como un conjunto de redes interconectadas con organización jerárquica que intentan interactuar con objetos del mundo real como lo hiciese el sistema biológico.

Las RNA recrean en gran medida la actividad de la sinapsis biológica, ya que, a partir de un estímulo externo, procesan información para arrojar un resultado que puede servir de estímulo a otra neurona. Además, las RNA están conformadas por procesadores que almacenan y utilizan información.

Determinantes económicas-financieras del precio del oro de 1987 a 2016: Una propuesta usando redes neuronales

III. 1 Historia

Los primeros fundamentos teóricos para las RNA fueron establecidos por Warren McCulloch y Walter Pitts en 1943. Estos autores desarrollaron un modelo matemático basado en la actividad neuronal del cerebro (Schulze-Roebbecke, 2016; Villar, 2013). Este modelo estaba formado por redes que buscaban simular el cerebro humano al transmitir señales impulsadas por otras neuronas (Chen et al., 2016).

Poco después, en 1949, Donald O. Hebb introdujo la idea de la plasticidad neural, mejor conocida como regla de aprendizaje Hebbiano. Él planteó que las conexiones neuronales en el cerebro no son estáticas y que se fortalecen cada vez que ocurren dando lugar a las técnicas de entrenamiento.

En 1958, Frank. Rosenblatt desarrolló la primera red neuronal de una sola capa que llamó perceptrón y construyó una máquina física usada para el reconocimiento de imágenes. Sin embargo, en 1969 M. Minsky y S. A. Papert hallaron una limitación en el perceptrón ya que sólo puede aprender problemas linealmente, es decir, no es capaz de aprender funciones linealmente separables (Minsky & Papert, citados en Villar, 2013). Posteriormente se crearía el perceptrón multicapa el cual, como su nombre lo dice, consta de mayor número de capas.

En 1970, Paul Werbos desarrolló uno de los algoritmos más utilizados en RNA, el método de aprendizaje *backpropagation*. Dicho algoritmo sería perfeccionado por Rumelhart en colaboración con otros investigadores años después (Villar, 2013).

En 1982, John Hopfield desarrolló un modelo de red recurrente que ayudaba a comprender la memoria humana a través de la memoria asociativa.

Determinantes económicas-financieras del precio del oro de 1987 a 2016: Una propuesta usando redes neuronales

III. 2 Características y ventajas de las redes neuronales artificiales

Las RNA son bastante utilizadas debido a su eficiencia al clasificar y reconocer de patrones, también pueden aproximar a funciones continuas no lineales ya que las RNA no son paramétricas y utilizan la interpolación para obtener datos faltantes.

Los beneficios al utilizar las RNA son que toleran errores en los datos y encuentran asociaciones entre los parámetros. Adicionalmente, la propagación posterior del error se minimiza dinámicamente al valor de cero porque el modelo aprende cómo se comporta la serie de tiempo (Gutiérrez et al., 2013; Kristjanpoller, 2014; Matich, 2001; Schulze-Roebbecke, 2016; Sehgal & Pandey, 2015).

Matich (2001) agrega que las RNA al mismo tiempo de contar con la capacidad de aprender al realizar tareas basadas en entrenamiento, se pueden auto organizar durante la etapa de aprendizaje por lo que no es necesario elaborar modelos a priori ni especificar funciones de distribución de probabilidad.

Las RNA se han utilizado en el sector financiero desde principios de los años noventa. Sus aplicaciones incluyen pronóstico de series de tiempo económicas tanto cuantitativas como cualitativas y también sobre selección óptima de acciones en un portafolio (Mombeini & Yazdani-Chamzini 2015; Schulze-Roebbecke, 2016).

III. 3 Elementos básicos

Las RNA están constituidas por neuronas interconectadas, usualmente arregladas en capas y conectadas por medio de funciones (Matich, 2001).

Capas o niveles de una red neuronal artificial

La distribución de las neuronas se realiza de forma que se crean niveles o capas con un número determinado de neuronas dentro de cada una de ellas (Matich, 2001).

Se pueden distinguir tres tipos de capas dependiendo de la actividad que desempeñen.

Determinantes económicas-financieras del precio del oro de 1987 a 2016: Una propuesta usando redes neuronales

Capa de entrada

Las neuronas de la capa de entrada reciben los datos que se les proporcionen para su procesamiento. Los datos pueden ser imágenes, audio, texto, patrones, u otra señal. Las RNA manejan solamente datos numéricos como entrada por lo que a veces es necesario convertir o codificarlos (Matich, 2001).

Capa oculta

Las capas ocultas son internas, en otras palabras, se encuentran dentro del sistema y no tienen contacto con el exterior. El número de capas ocultas depende del tipo de red que se desee construir. Pueden estar interconectadas de distintas maneras. Estas capas son las que determinan las distintas topologías de RNA debido a que el número de capas ocultas puede ser de cero en adelante (Matich, 2001).

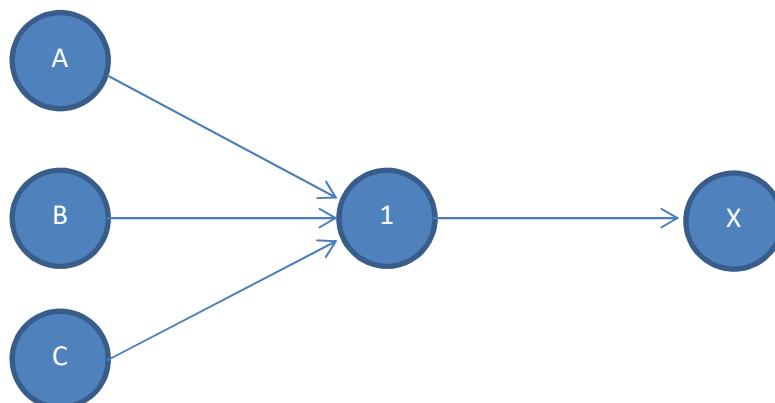
Capa de salida

La capa de salida transfiere la respuesta que ha generado la red al exterior.

Matich (2001) menciona que la habilidad para procesar la información suele incrementarse en proporción del número de capas en la red.

Un ejemplo de red se muestra en la Ilustración 2 dónde las entradas son A, B y C, la capa oculta es 1, y la capa de salida es X.

Ilustración 2. Red neuronal



Fuente: Ramírez (2017)

Para que las capas arribas mencionadas se conecten es necesario establecer funciones que lleven a cabo esta tarea. Existen tres tipos de funciones: Función de entrada, de activación y de salida.

Determinantes económicas-financieras del precio del oro de 1987 a 2016: Una propuesta usando redes neuronales

Función de entrada

Esta función permite combinar las diversas entradas dentro de una general, ya que, la neurona trata a los valores como si fuesen uno sólo, es decir, como si fuera una entrada global.

Por medio de la función de entrada, los valores se pueden multiplicar por pesos previamente ingresados a la neurona para darle mayor o menor importancia a cada una de las variables ingresadas.

Las funciones de entrada más utilizadas y conocidas son:

a) Sumatoria de las entradas pesadas:

Toma la suma de todos los valores y los multiplica por sus respectivos pesos.

b) Productoria de las entradas pesadas:

Toma el producto de todos los valores y los multiplica por sus respectivos pesos.

c) Máximo de las entradas pesadas:

Entre todos los valores toma el más fuerte previamente multiplicado por sus respectivos pesos.

Función de activación

Esta función calcula el estado de actividad de una neurona. Transforma la entrada global en un valor o estado de activación. Este estado puede ser activo o inactivo (Matich, 2001). Las funciones de activación también son conocidas como funciones de transferencia y determinan la re expresión del potencial sináptico a la siguiente capa (Villar, 2013).

Determinantes económicas-financieras del precio del oro de 1987 a 2016: Una propuesta usando redes neuronales

Las funciones de activación más comunes son:

- a) *Función lineal (purelin)*
- b) *Función sigmoidea (logsig)*
- c) *Función tangente hiperbólica (tanh)*

Función de salida

Esta función determina qué valor se transfiere a las neuronas conectadas. El valor que resulta de esta función es la salida de la neurona. La función de activación para la capa oculta y la de salida suelen ser diferentes (Matich, 2001).

Las funciones de salida más comunes son:

- a) *Ninguna o identidad.*
- b) *Binaria.*

III. 4 Codificación

Como se mencionó anteriormente, las RNA sólo reconocen números pero sucede que a veces los datos de entrada no son numéricos. Para que la red los reconozca y pueda producir una salida es necesario realizar una codificación (Matich, 2001).

Se distinguen dos tipos de variables a ser codificadas: Variables numéricas o continuas y variables simbólicas o discretas.

Las variables numéricas pueden tomar cualquier valor dentro de cierto intervalo que puede ir desde menos infinito a infinito como la temperatura del agua que puede medirse en grados centígrados.

Las variables simbólicas suelen ser categorías, basándonos en el ejemplo de la temperatura, pueden tomar el valor de frío, tibio o caliente. Para determinar que intervalo va dentro de cada categoría habría que dividir el intervalo de la variable numérica temperatura creando subintervalos. Es decir, determinar de qué número a que número se contempla que sea una temperatura fría. Ej: 0 a 10 grados centígrados.

Una vez realizada la codificación a las variables simbólicas se puede proceder a ingresar los valores como entradas a la RNA.

Determinantes económicas-financieras del precio del oro de 1987 a 2016: Una propuesta usando redes neuronales

III. 5 Tipos de aprendizaje

La red neuronal debe ser entrenada para que calcule la salida correcta ante la entrada de un nuevo conjunto de datos. Este proceso es conocido como proceso de entrenamiento o acondicionamiento, por lo que, al conjunto de datos o ejemplos que sirven para ejecutar el proceso se les denomina conjunto de datos de entrenamiento (Matich, 2001).

Durante este proceso las neuronas destruirán, modificarán o crearán conexiones entre sí ya que los pesos de las conexiones de las neuronas cambiarán a través de un aprendizaje de adaptación.

Existen dos tipos de aprendizaje principalmente: aprendizaje supervisado y aprendizaje no supervisado.

Aprendizaje supervisado

Para que la RNA aprenda, se le proporciona una serie de ejemplos, los cuales constan de patrones de entrada y la salida. Durante el entrenamiento se van ajustando los pesos para que la salida arrojada sea lo más parecida a la salida deseada (Matich, 2001).

Este tipo de aprendizaje puede llevarse a cabo de diferentes formas: por corrección de error, por refuerzo o por estocástico.

a) Aprendizaje por corrección de error

Este tipo de aprendizaje permite entrenar la red a través de ejemplos, que son comparados con las respuestas esperadas. Ante un error, se ajustan los pesos sinápticos con el objetivo de disminuir dicho error cometido en la salida.

Hay tres algoritmos que ejemplifican este tipo de aprendizaje: La regla de aprendizaje del perceptrón, regla de aprendizaje Delta y regla de propagación hacia atrás (*backpropagation*).

La regla de aprendizaje del perceptrón calcula la desviación a la salida objetivo como el error en la capa de salida y detona un efecto cadena en el cual los pesos cambian a partir del error.

En la regla de aprendizaje Delta se realiza lo mismo que en la del perceptrón pero además toma en cuenta a las neuronas predecesoras de la capa de salida por lo que se puede cuantificar el error global.

Determinantes económicas-financieras del precio del oro de 1987 a 2016: Una propuesta usando redes neuronales

En la regla de *backpropagation* se generaliza el aprendizaje Delta por lo que permite realizar cambios sobre los pesos en la capa oculta (Matich, 2001).

b) Aprendizaje por refuerzo

Es un aprendizaje más lento, si se le compara al de corrección de error, ya que en vez de indicar la salida que se desea obtener se limita a señalar si se realiza con éxito o fracaso para que en función de esto se ajusten los pesos (Matich, 2001).

c) Aprendizaje estocástico

Este tipo de aprendizaje consiste en realizar cambios aleatorios a los pesos de las conexiones para determinar la energía de la red. Si el cambio implica menor energía se acepta, de lo contrario se aceptaría el cambio basado en una determinada distribución de probabilidades.

Un ejemplo de este tipo de aprendizaje es el Boltzman puesto que las neuronas se hayan en un estado binario, es decir, están activas o inactivas (Matich, 2001).

Aprendizaje no supervisado

Este aprendizaje es también conocido como auto supervisado o auto organizado. En este tipo de aprendizaje se le proporciona a la red una serie de ejemplos, más no la respuesta que se espera. Para obtenerla, la RNA reconoce características, regularidades, correlaciones o categorías en el conjunto de entrada. La salida representa el grado de similitud con la información de entrada (Matich, 2001).

Generalmente se consideran dos tipos de aprendizajes no supervisados: aprendizaje hebbiano y aprendizaje competitivo/comparativo.

a) Aprendizaje hebbiano

Mide la familiaridad o extrae características de los datos de entrada bajo el supuesto de que, si dos neuronas que comparten una conexión sináptica se activan al mismo tiempo, la conexión se fortalece (Matich, 2001).

Determinantes económicas-financieras del precio del oro de 1987 a 2016: Una propuesta usando redes neuronales

b) Aprendizaje competitivo y comparativo

Este aprendizaje está orientado a la clusterización de datos. Las neuronas compiten unas contra otras para activarse con la finalidad de que sólo una de ellas se active y alcance su respuesta máxima ante nueva información entrante quedando así como vencedora y las demás respondiendo de forma mínima. La tarea fundamental de las neuronas es determinar si un patrón pertenece a una clase previamente reconocida o si pertenece a una nueva por lo que la estructura y pesos se ajustarán para reconocer esta nueva clase (Matich, 2001).

Dentro de este aprendizaje se encuentra el basado en la memoria. Las experiencias son clasificadas y almacenadas en la memoria. Ante un estímulo nuevo la red responde basado en las experiencias pasadas.

Adicionalmente al aprendizaje supervisado o no supervisado, pueden darse aprendizajes mixtos como lo sería un aprendizaje híbrido y uno reforzado.

Aprendizaje híbrido

Es una mezcla de los dos tipos de aprendizaje. Unas capas de la red tienen un aprendizaje de tipo supervisado y otras capas tienen uno no supervisado.

Determinantes económicas-financieras del precio del oro de 1987 a 2016: Una propuesta usando redes neuronales

Aprendizaje reforzado

Tiene características del aprendizaje supervisado y del no supervisado. Lo que hace diferente al tipo de aprendizaje reforzado del híbrido es que al reforzado se le indica en cierta medida el error que comete, aunque sea un error global, a pesar de que no se le proporciona una salida deseada.

III. 6 Detención del proceso de aprendizaje

Para determinar cuándo se detendrá el proceso de aprendizaje es necesario establecer una condición de detención. Usualmente esta condición consiste en detener el entrenamiento cuando el error cuadrado ha alcanzado su mínimo. O bien, puede ser que el error esté por debajo de cierto umbral. Otra condición de detención puede ser el completar cierto número de ciclos de entrenamiento. Una vez alcanzada la condición de detención los pesos no volverán a cambiar (Matich, 2001).

Existe un tipo de entrenamiento llamado *batch training* que ajusta los pesos sinápticos de la red hasta que todos los conjuntos de datos de entrenamiento se presenten, momento en el cual se detiene el entrenamiento. Este tipo de entrenamiento es usado para el presente trabajo (Villar, 2013).

III. 7 Validación de la red neuronal

Después de aplicar el proceso de entrenamiento y que los pesos se encuentran fijos se debe comprobar si la red neuronal es capaz de resolver nuevos problemas para los cuales fue entrenada. Es por esto que se requiere un conjunto de datos para confirmar que es capaz de llevar a cabo esta labor. A este conjunto de datos se le denomina conjunto de validación o testeo (Matich, 2001).

III. 8 Limitaciones:

Se ha hablado de las características y beneficios de emplear RNA; sin embargo, existen limitaciones en su uso, como la falta de consenso sobre la mejor manera de utilizarlas (Gutiérrez et al., 2013).

Adicionalmente, existen críticas acerca de la capa oculta de las RNA debido a que puede ser complicado reconstruir como el algoritmo alcanza un valor. Además de que no hay límite teórico de cuántas capas ocultas deben usarse, aunque normalmente se emplean uno o dos (Mombeini y Yazdani-Chamzini, 2015). Aunque esto mismo

Determinantes económicas-financieras del precio del oro de 1987 a 2016: Una propuesta usando redes neuronales

puede resultar beneficioso, ya que, previene que conocimiento u opiniones preexistentes interfieran en la operación (Schulze-Roebbecke, 2016).

Otro problema hallado en las redes es que trabajan bajo un fundamento de ajuste por lo que tienden a amoldarse para optimizar los pesos; aunque, si se entrena varias veces con la misma base de datos se creará un sobreajuste lo cual causará que un dato fuera de la base original no sea reconocido (Schulze-Roebbecke, 2016). Debido a este hecho, varias simulaciones deben hacerse a un modelo de RNA antes de considerar el ajuste de los datos, y por lo tanto ser considerado un buen estimador (Yonaba et al., citado en Gutiérrez et al., 2013).

En la literatura se argumenta que los requisitos para que las RNA funcionen de manera óptima es la selección de las variables explicatorias, los parámetros de la red, y la longitud de la ventana de tiempo (Kristjanpoller & Minutolo, 2015; Mombeini y Yazdani-Chamzini, 2015).

Es esto mismo lo que hace relevante la tesis presentada ya que se presentan las posibles variables explicatorias; se realizan varias ventanas de tiempo dentro del periodo original; y se realizan varias simulaciones entre dos topologías para encontrar las que arrojen los resultados óptimos respecto al impacto de las variables sobre el precio de oro.

Determinantes económicas-financieras del precio del oro de 1987 a 2016: Una propuesta usando redes neuronales

III. 9 Comparabilidad de RNA con otros modelos

Aparte de las RNA, otros modelos que son recurrentemente utilizados en el campo financiero son: ARIMA, ARCH y GARCH. Estos tres modelos se encuentran clasificados dentro de los modelos de regresión a diferencia de las RNA, que son modelos basados en inteligencia artificial.

ARIMA (Autoregressive integrated moving average)

El modelo ARIMA fue creado por Box & Jenkins (1970). Asume datos lineales y series de tiempos que no son estacionarios. El valor de pronóstico del modelo viene de una función lineal de observaciones pasadas.

Los modelos ARIMA incluyen tres parámetros: el número de los parámetros autorregresivos, el número de los parámetros diferenciados y el número de los parámetros de promedios móviles (Chen et al., 2016). Para que el modelo ARIMA arroje un resultado óptimo, se sugieren un mínimo de 50 observaciones. En la mayoría de los casos, los datos para este estudio rebasan este número mínimo de observaciones.

Sin embargo, autores como El Hedi Arouri et al. (2015), Cai et al. (2001) y Kristjanpoller & Minutolo (2014) concuerdan que los precios del oro son estacionarios por lo cual ARIMA no sería la mejor opción para medir la sensibilidad del oro ya que el modelo asume la no existencia de la estacionalidad en los datos.

Además que el modelo ARIMA se enfrentaría a la estacionalidad que presentase en una o más de las variables económico-financieras. Debido a lo anterior sería mejor opción utilizar RNA en lugar del método ARIMA.

Además, Mombeini & Yazdani-Chamzini (2015) realizan una comparación entre el modelo ARIMA y las RNA, sus resultados arrojan que las RNA se desempeñan mejor en términos de error absoluto medio, coeficiente de determinación y la raíz del error absoluto medio.

Determinantes económicas-financieras del precio del oro de 1987 a 2016: Una propuesta usando redes neuronales

ARCH (Autoregressive conditional heteroskedasticity) y GARCH (Generalized Autoregressive conditional heteroskedasticity)

Otros modelos de regresión comúnmente utilizados en el campo financiero son el modelo ARCH y el GARCH. Este último ha sido utilizado recurrentemente sobre los mercados de futuros para investigar las medias, las varianzas y las covarianzas (Cai et al., 2001).

Este tipo de modelo ha sido aplicado dentro del mercado de metales al modelar la volatilidad del cobre de manera más apropiada (Bracker & Smith, citado en Urich, 2000).

A pesar de esto, Kristjanpoller et al. (2014) advierten que el modelo GARCH no es siempre óptimo si la varianza de los datos es heteroscedástica. Y, a pesar de que el método GARCH es uno de los métodos más usados para pronosticar conlleva a errores altos. Es por esto que Kristjanpoller & Minutolo (2014) deciden mezclar GARCH y RNA. Su trabajo aplica un modelo GARCH seguido por la aplicación de RNA. La mezcla de ambos modelos resulta en un descenso en los errores. Sin embargo, se dan cuenta que su modelo también tienen una limitación ya que GARCH-RNA carece de la capacidad de aprender del error.

Las RNA se pueden utilizar para modelar series de tiempo, teniendo la ventaja de ajustar mejor que otros modelos. Y, en general han mostrado resultados superiores a modelos ARIMA, ARCH o GARCH en cuanto al error cuadrado medio, error absoluto medio (Sehgal & Pandey, 2015).

A continuación, se enuncian estudios en los que se compara a las RNA con otro método estadístico y cuáles son las conclusiones.

Nowrouz Kohzadi en 1996 compara una red neuronal con un método ARIMA para pronosticar los precios del ganado vivo y harina. Ellos concluyen que la RNA es superior al método ARIMA (citado en Kristjanpoller & Minutolo, 2015).

Azadeh compara las redes comparadas con una regresión fuzzy y el resultado es que las RNA son superiores en términos del porcentaje de error medio (citado en Kristjanpoller & Minutolo, 2015).

Camacho (2015) utiliza los modelos ARIMA, multiplicativo de Winters, RNA MPL, ANFIS, simulación Montecarlo y regresión de retrocesos al tratar de verificar cuál es el mejor modelo para predecir el comportamiento de la plata a través del tipo de cambio entre el dólar y el peso mexicano en una serie cronológica de 1984 a 2010. Él encuentra que el mejor modelo para pronosticar los precios de la plata es la RNA del tipo Perceptron Multicapa (MPL). El modelo se encuentra teniendo en cuenta la diferencia porcentual con respecto a las estimaciones generadas por el modelo, la magnitud media del error y la diferencia porcentual relativa media.

Determinantes económicas-financieras del precio del oro de 1987 a 2016: Una propuesta usando redes neuronales

Villar (2013) al comparar las RNA con el modelo ARIMA para pronosticar el tipo de cambio peso-dólar concluye que las RNA mostraron mejor ajuste y pronóstico que el modelo ARIMA.

Hill, O'Connor y Remus realizan un ejercicio comparativo para demostrar si las RNA son superiores a otros métodos de pronóstico como suavizamiento exponencial, método de Holt, y método ARIMA utilizando 104 series de tiempo con frecuencias mensuales, trimestrales y anuales. Ellos concluyen que, para las series mensuales y trimestrales, las redes neuronales son significativamente mejores que los otros métodos (citados en Villar, 2013).

Yu Wang, Huang y Lai presentan una revisión de la literatura respecto al pronóstico de tipo de cambio empleando RNA. Dentro de una muestra de 45 artículos de investigación, solamente en dos ocasiones las RNA no sobresalen en rendimiento versus la metodología con la que se les comparaba. Es decir, en un 95.6% las RNA son mejores que otros métodos (citados en Villar, 2013).

Determinantes económicas-financieras del precio del oro de 1987 a 2016: Una propuesta usando redes neuronales

Resumen Parte I

Capítulo I

El oro forma parte del mercado de metales, se encuentra clasificado dentro de los metales preciosos al igual que la plata, el platino y el paladio.

Solnik (1993) describe al oro como un activo internacional tangible que no se puede producir de manera artificial y que es negociado a escala mundial. Worthington & Pahlavani argumentan que es buscado para invertir ya que, aparte de ser universalmente aceptado, es fácil de autenticar (citados en Hoang et al., 2016).

Europeos y asiáticos lo consideran parte de las reservas, puesto que se le valora como un activo económico debido a que históricamente ha respaldado sistemas monetarios por siglos. Además, debido a su potencial de negociación entre los inversionistas institucionales, lo vuelve un activo monetario con gran liquidez (Solnik, 1993).

Los tres principales centros que comercian oro son: Londres, Nueva York y Zúrich. El mercado *spot* de Londres (LOTC) y el Mercado Mercantil de Futuros de Nueva York (COMEX) son los que manejan el mayor volumen de oro (Hauptfleisch et al., 2016; Lucey et al., citados en Ntim et al., 2015; O'Callaghan citado en Caminschi & Heaney, 2014).

El precio del oro ha variado a través del tiempo aunque, su precio no siempre fluctuó puesto que durante el acuerdo de Bretton Woods el precio se encontraba fijo en 35 dólares por onza. Este acuerdo finalizó en 1971 y fue entonces cuando los precios en el mercado del oro empezaron a fluctuar de acuerdo con las leyes de oferta y la demanda (Hoang et al., 2016; Ntim et al., 2015).

La tendencia del precio del oro de 1987 a 2006 había sido lateral, pero en el primer trimestre de 2006 rebasa su máximo valor hasta esa fecha y pasa a una tendencia alcista que perduró 6 años.

En el tercer trimestre de 2011 el oro alcanza un precio por arriba de los 1,600 dólares por onza y en 2012 después de alcanzar su máximo promedio histórico trimestral de 1,719 dólares por onza, tiene una racha a la baja en la cual toca un precio promedio trimestral de 1,105 dólares por onza.

Respecto a la volatilidad el oro se situó en un rango menor de 16% a lo largo del periodo de 1987-2016. Sus puntos más volátiles son durante el primer trimestre de 2008 y el segundo semestre de 2013. Fue en esos momentos, en los cuales se manifiesta y disipa la crisis estadounidense, tiempo después el oro presenta rachas a la baja después de haber mostrado picos al alza en su precio.

Determinantes económicas-financieras del precio del oro de 1987 a 2016: Una propuesta usando redes neuronales

Emmrich & McGroarty (2013), Hedi Arouri (2015), Solnik (1993), Gary Gorton & K. G. Rouwenhorst, Gutiérrez et al. (2013), Kristjanpoller et al. (2014) y Creti et al. (2013), de cierto modo, en sus estudios advierten que existen variables que afectan el precio del oro como los bonos, las acciones y las crisis.

Determinantes económicas-financieras del precio del oro de 1987 a 2016: Una propuesta usando redes neuronales

Capítulo II

Lili & Chengmei distinguen tres grupos de factores influyentes que afectan los precios del oro lo cual facilita la clasificación de las variables que al parecer tienen relación con este metal. Estos grupos son: el mercado financiero, los factores macroeconómicos y tensiones políticas (citados en Gutiérrez et al., 2013).

El primer grupo de factor influyente es el mercado financiero el cual contempla el mercado de valores, el petróleo y la fijación del precio del oro por parte de la Bolsa de Valores de Londres. A su vez, dentro del mercado de valores, se presta especial atención a los índices Dow Jones, FTSE y Standard & Poor's.

Dentro del mercado financiero se han identificado variables que parecen afectar al precio del oro. Hasta el momento, el petróleo ha sido la variable que más se ha estudiado y tratado de relacionar con el oro. Por otro lado, aunque se desearía incluir la fijación del precio del oro en el estudio no es posible, debido a la periodicidad de la mayoría de los datos. Además, Caminschi & Heaney (2014) mencionan que no hubo un impacto después de la publicación de los resultados por parte de la LBMA.

El segundo grupo de factor influyente son los factores macroeconómicos dentro de los cuales se incluyen las tasas de interés, las letras del Tesoro, los informes de empleo, el PIB, las reservas, la inflación internacional, el nivel de precios de consumidor y oferta de oro.

Dentro de los factores macroeconómicos se han identificado variables que parecen afectar al precio del oro. Hasta el momento, se ha mencionado que las tasas de interés, Letras del Tesoro tienen una influencia inversa al precio del oro; el índice de precios al consumidor parece moverse junto al precio del oro a largo plazo; las reservas e inflación parecen afectar precio del oro. Y, aunque se encuentra que el *Baltic Dry index* no influye en el precio del oro, se toma en cuenta para cotejar que efectivamente es irrelevante.

El tercer grupo de factor influyente son las tensiones políticas, el cual contempla el estrés financiero como un indicador de crisis.

Se ha identificado a la variable STLFSI como aquella que mejor representa el estrés financiero.

El índice STLFSI es la variable que hasta ahora ha tenido mayor volatilidad puesto que alcanza las variaciones más altas tanto al alta y a la baja mostrando tasas con una aceleración por arriba del 5%.

Finalmente, se agrega un cuarto grupo de factores influyente a la clasificación de Lili & Chengmei, el mercado FOREX. Esto debido a estudios que han tomado tipos de

Determinantes económicas-financieras del precio del oro de 1987 a 2016: Una propuesta usando redes neuronales

cambio para explicar y/o pronosticar las fluctuaciones en el precio del oro y plata (citados en Gutiérrez et al., 2013).

Dentro del mercado forex se han identificado variables que parecen afectar al precio del oro. El dólar en sí mismo es la variable que más impacta de acuerdo a estudios anteriores.

Las variables que mostraron un comportamiento parecido al precio del oro fueron el petróleo ya que muestra tendencias y rachas similares; también las reservas sin tomar en cuenta oro, tanto las británicas como las estadounidenses.

Las variables que muestran comportamientos opuestos al oro no pueden ser detectadas a simple vista; sin embargo, mientras el precio del oro asciende, las variables que descienden son: las tasas de interés, las letras del tesoro y tasas libor.

La variable que en promedio tiene mayor volatilidad fue el índice STLFSI puesto que alcanza las variaciones más altas tanto al alta y a la baja. La segunda variable, en promedio, más volátil es la tasa de inflación de Estados Unidos. Ambas tasas muestran una aceleración por arriba del 5%.

Determinantes económicas-financieras del precio del oro de 1987 a 2016: Una propuesta usando redes neuronales

Capítulo III

Las Redes Neuronales Artificiales (RNA) son modelos matemáticos basados en la conexión de las neuronas biológicas. Recrean en gran medida la actividad de la sinapsis biológica, ya que, a partir de un estímulo externo, procesan información para arrojar un resultado que puede servir de estímulo a otra neurona. Además, las RNA están conformadas por procesadores que almacenan y utilizan información.

Las RNA están constituidas por neuronas interconectadas, usualmente arregladas en capas y conectadas por medio de funciones (Matich, 2001).

Las RNA sólo reconocen números, en caso de que los datos no sean numéricos, es necesario realizar una codificación (Matich, 2001).

La red neuronal debe llevar a cabo un proceso de entrenamiento o acondicionamiento para que calcule la salida correcta ante la entrada de un nuevo conjunto de datos (Matich, 2001).

Existen dos tipos de aprendizaje principalmente: aprendizaje supervisado y aprendizaje no supervisado.

En el supervisado se le proporciona a la RNA una serie de ejemplos, los cuales constan de patrones de entrada y la salida. Durante el entrenamiento se van ajustando los pesos para que la salida arrojada sea lo más parecida a la salida deseada (Matich, 2001).

En el no supervisado se le proporciona a la red una serie de ejemplos, más no la respuesta que se espera. Para obtenerla, la RNA reconoce características, regularidades, correlaciones o categorías en el conjunto de entrada. La salida representa el grado de similitud con la información de entrada (Matich, 2001).

Es necesario establecer una condición de detención del aprendizaje. Usualmente consiste en detener el entrenamiento cuando el error cuadrado ha alcanzado su mínimo. Una vez alcanzada la condición de detención, los pesos no volverán a cambiar (Matich, 2001).

Después de aplicar el proceso de entrenamiento y que los pesos se encuentran fijos se debe comprobar si la red neuronal es capaz de resolver nuevos problemas para los cuales fue entrenada. Es por esto que se requiere un conjunto de datos para testeo.

Las RNA son bastante utilizadas debido a su eficiencia al clasificar y reconocer de patrones, también pueden aproximar a funciones continuas no lineales ya que las RNA no son paramétricas.

Las RNA se han utilizado en el sector financiero desde principios de los años noventa. Sus aplicaciones incluyen pronóstico de series de tiempo económicas tanto cuantitativas como cualitativas y también sobre selección óptima de acciones en un portafolio (Mombeini & Yazdani-Chamzini 2015; Schulze-Roebbecke, 2016).

Determinantes económicas-financieras del precio del oro de 1987 a 2016: Una propuesta usando redes neuronales

Sin embargo, existen discusiones acerca del uso de las RNA como la falta de consenso sobre la mejor manera de utilizarlas y críticas acerca de la capa oculta de las RNA debido a que puede ser complicado reconstruir como el algoritmo alcanza un valor (Gutiérrez et al., 2013). Además de que no hay límite teórico de cuántas capas ocultas deben usarse, aunque normalmente se emplean uno o dos (Mombeini y Yazdani-Chamzini, 2015).

Aparte de las RNA existen otros modelos que son recurrentemente utilizados en el campo financiero.

Nowrouz Kohzadi y Villar (2013) comparan una red neuronal con un método ARIMA. Nowrouz Kohzadi las usan para pronosticar los precios del ganado vivo y harina mientras Villar (2013) para pronosticar el tipo de cambio peso-dólar. Ellos concluyen que la RNA es superior al método ARIMA (citado en Kristjanpoller & Minutolo, 2015).

Azadeh compara las redes comparadas con una regresión fuzzy y el resultado es que las RNA son superiores en términos del porcentaje de error medio (citado en Kristjanpoller & Minutolo, 2015).

Camacho (2015) utiliza los modelos ARIMA, multiplicativo de Winters, RNA MPL, ANFIS, simulación Montecarlo y regresión de retrocesos al tratar de verificar cuál es el mejor modelo para predecir el comportamiento de la plata a través del tipo de cambio entre el dólar y el peso mexicano. Él encuentra que el mejor modelo para pronosticar los precios de la plata es la RNA del tipo Perceptron Multicapa (MPL) basándose en la diferencia porcentual con respecto a las estimaciones generadas por el modelo, la magnitud media del error y la diferencia porcentual relativa media.

Hill, O'Connor y Remus realizan un ejercicio comparativo para demostrar si las RNA son superiores a otros métodos de pronóstico como suavizamiento exponencial, método de Holt, y método ARIMA utilizando 104 series de tiempo con frecuencias mensuales, trimestrales y anuales. Ellos concluyen que, para las series mensuales y trimestrales, las redes neuronales son significativamente mejores que los otros métodos (citados en Villar, 2013).

Yu Wang, Huang y Lai presentan una revisión de la literatura respecto al pronóstico de tipo de cambio empleando RNA. Dentro de una muestra de 45 artículos de investigación, solamente en dos ocasiones las RNA no sobresalen en rendimiento versus la metodología con la que se les comparaba. Es decir, en un 95.6% las RNA son mejores que otros métodos (citados en Villar, 2013).

Determinantes económicas-financieras del precio del oro de 1987 a 2016: Una propuesta usando redes neuronales

Hipótesis

A continuación, las preguntas a responder en el desarrollo de este documento, los principales objetivos e hipótesis correspondientes.

Tabla 1. Matriz de congruencia

Pregunta principal	Objetivo principal	Hipótesis principal
¿Cuáles son las principales variables económico-financieras que afectan al precio del oro?	Cuantificar el impacto que tienen las variables económico-financieras sobre el precio del oro mediante el uso de redes neuronales artificiales.	H1: El precio del oro es sensible principalmente, a cambios en las reservas internacionales, el índice dólar y el índice Dow Jones.
Pregunta secundaria	Objetivo secundario	Hipótesis secundaria
¿Cuál ha sido la evolución, desde 1987 hasta 2016, de los precios del oro, el mercado financiero, los factores macroeconómicos, las tensiones políticas y el mercado de divisas?	Identificar la relación histórica del precio del oro y las variables económico-financieras: mercado financiero, factores macroeconómicos, las tensiones políticas y el mercado de divisas.	H2: El precio del oro presenta un comportamiento similar a los precios del petróleo, la inflación de Estados Unidos y a las reservas internacionales de Estados Unidos. Y, de manera contraria, al comportamiento del índice Dow Jones y del índice dólar.
Pregunta secundaria	Objetivo secundario	Hipótesis secundaria
¿La aplicación de la inteligencia artificial, específicamente las redes neuronales artificiales, es la forma más precisa de cuantificar la sensibilidad que tiene el precio del oro a las variables económico-financieras?	Contrastar las topologías de redes neuronales artificiales e identificar las más eficientes en el cálculo de sensibilidad en el precio del oro a las variables económico-financieras.	H3: La aplicación de redes neuronales artificiales, es el modo más preciso para cuantificar la sensibilidad que el precio del oro tiene ante las variables económico-financieras.

Determinantes económicas-financieras del precio del oro de 1987 a 2016: Una propuesta usando redes neuronales

Pregunta secundaria	Objetivo secundario	Hipótesis secundaria
¿Los rendimientos de oro son similares a los rendimientos de los índices de mercado de capitales más representativos?	Comparar los rendimientos del oro y los rendimientos de los índices de mercado de capitales más representativos de 1987 a 2016.	H4: El oro presenta rendimientos similares a los de los índices de mercado de capitales desde 1987 hasta 2016.

Elaboración propia

Se observan en la Tabla 1 cuatro preguntas, que son eje en el desarrollo de este documento, dando énfasis al objetivo principal de medir el impacto que tienen las variables económico-financieras sobre el precio del oro.

Asimismo, se consideran tres objetivos secundarios que apoyan en el análisis de la relación entre el precio del oro y las variables económico-financieras, al evaluar las topologías de las redes artificiales para determinar la óptima al cuantificar la sensibilidad y la comparación de los rendimientos de oro con el mercado de valores.

Determinantes económicas-financieras del precio del oro de 1987 a 2016: Una propuesta usando redes neuronales

Parte II. Estimación del modelo basado en redes neuronales

Capítulo IV. Datos y metodología

Todas las posibles variables que afectan el precio del oro son obtenidas con base en los estudios previos que las relacionan con el metal.

La metodología en su mayoría no es experimental ya que gran cantidad de los datos secundarios son duros, es decir, sin realizar estimaciones. Cabe señalar que se presenta un análisis correlacional con el propósito de conocer la relación entre el oro y las variables económico-financieras seleccionadas; así mismo, es longitudinal ya que se toman períodos, así como subperíodos de tiempo; y por último, es cuantitativo ya que sólo se introducen datos numéricos en el presente modelo para cuantificar impactos.

El estudio está conformado en tres partes: primero se aplican redes neuronales artificiales (RNA) para determinar las variables económico-financieras que tienen mayor impacto en el precio del oro, después se comparan las topologías a uno y dos nodos en la capa oculta para determinar cuál es óptima y finalmente se realiza una comparación de los rendimientos de los principales índices versus los rendimientos del oro.

Determinantes económicas-financieras del precio del oro de 1987 a 2016: Una propuesta usando redes neuronales

IV. 1 Aplicación de redes neuronales artificiales

Se busca cuantificar los impactos de las variables económico-financieras sobre el precio del oro bajo la hipótesis de que los cambios en las reservas internacionales, el índice dólar y el índice Dow Jones son los que tienen un impacto más significativo.

Los datos son trimestrales y cubren el período de 1987 a 2016. Este periodo de tiempo se elige ya que se quiso dar continuidad al estudio realizado por Septien (1988) quien tomó datos anuales a partir de 1968 a 1986 al tratar de construir un modelo matemático capaz de explicar el comportamiento del oro y plata a través de variables macroeconómicas.

Para las variables que no están presentadas originalmente por trimestres es necesario utilizar promedios trimestrales.

Adicional al periodo mencionado se crean subperiodos para la inclusión de variables cuyos datos históricos comenzaron después de 1987 y para ver cómo afecta como su inclusión al periodo original. Los subperiodos inician el primer trimestre de 1990, primer trimestre de 1994, segundo trimestre de 1999 y el tercer trimestre de 2001, todos finalizando al cuarto trimestre de 2016. El número total de observaciones es 3,846.

Las RNA se utilizan para cuantificar el impacto de las variables porque son flexibles, precisas, pueden aproximar funciones no lineales y procesar enormes conjuntos de datos, tanto en longitud como en número de característica como lo mencionan Gutiérrez (2013) y Schulze-Roebecke (2016). Además, Hill, O'Connor y Remus concluyen que, para las series mensuales y trimestrales, las redes neuronales son significativamente mejores que otros métodos (citados en Villar, 2013).

Se hace uso de una RNA de tipo perceptron multicapa debido a que puede aprender y aproximarse con precisión a cualquier conjunto de funciones incluyendo a las linealmente separables, a diferencia del perceptrón simple. Además, Villar (2013) y Camacho (2015) concluyen que este tipo de RNA supera al modelo ARIMA entre otros (Funahashi, citado en Villar, 2013).

El tipo de aprendizaje empleado es supervisado y basado en corrección del error utilizando el algoritmo de *backpropagation* puesto que consiste en propagar el error desde la capa de salida a la capa de entrada pasando por la capa oculta ajustando los pesos de las conexiones para conseguir el menor error global (Villar, 2013).

Las variables económico-financieras funcionan como covariantes y forman las capas de entrada. El precio del oro funciona como variable dependiente y por lo tanto como capa de salida usando la función de activación identidad. Dos topologías de capa oculta son probadas con una función de activación tangente hiperbólica. Ambas con una capa oculta pero la primera con un nodo y la siguiente con dos nodos. Las variables obtenidas, así como sus fuentes pueden ser observadas en la Tabla 2.

Determinantes económicas-financieras del precio del oro de 1987 a 2016: Una propuesta usando redes neuronales

Se corren las redes dentro de la muestra, es decir, la red es entrenada con 75% de los datos y el 25% restante sirve para prueba. Se hace uso de cuatro particiones, lo cual genera cuatro bases para alimentar la red. Estas a su vez son probadas diez veces dando un total de 40 corridas por periodo. La conformación de las particiones puede ser consultada en la Tabla 9 dentro del apéndice. Con base en los porcentajes de errores de entrenamiento y prueba arrojados se selecciona una red de cada partición. Dando lugar a cuatro resultados por cada periodo por lo que se tienen realmente ocho resultados por periodo. Cuatro obtenidos con la primera topología y cuatro obtenidas de la segunda topología.

Lo anterior multiplicado por los seis periodos da un total de 48 resultados. De estos resultados se toman en cuenta los errores tanto de entrenamiento como prueba, aquellos que superen su propio promedio general no son tomados en cuenta para así desechar los resultados menos confiables.

El tipo de entrenamiento utilizado es *batch* con un algoritmo de optimización de gradiente descendente.

El software utilizado para correr las RNA con Perceptrón Multicapa es SPSS 20 de IBM.

Matrices de correlación son añadidas por cada subperiodo para observar como las variables económico-financieras se relacionan linealmente con el precio del oro.

Determinantes económicas-financieras del precio del oro de 1987 a 2016: Una propuesta usando redes neuronales

Tabla 2. Fuentes de las variables económico-financieras y oro

Variables económico-financieras	Fuente	Variables económico-financieras	Fuente
Baltic Dry Index	https://www.quandl.com/data/LLOYDS/BDI-Baltic-Dry-Index	Empleo en Reino Unido	http://stats.oecd.org
Índice Dow Jones	Capital IQ https://www.capitaliq.com	Oro en Onzas Troy de Reino Unido	http://data.imf.org
Precios Spot del Euro (Euro dólar)	Capital IQ https://www.capitaliq.com	Tasas de interés de Reino Unido	http://stats.oecd.org
Índice FTSE	Capital IQ https://www.capitaliq.com	Reservas de Reino Unido excluyendo oro	http://data.imf.org
Índice dólar	Reuters mx.reuters.com	Producto Interno Bruto de Reino Unido	http://stats.oecd.org
Precios Spot del yen dólar	Capital IQ https://www.capitaliq.com	Desempleo en Reino Unido	http://www.inegi.org.mx/sistemas/bie/
Letra del Tesoro un Mes	http://www.inegi.org.mx/sistemas/bie/	Índice de Precios al Consumidor en EE.UU	http://stats.oecd.org
Letra del tesoro tres Meses	http://www.inegi.org.mx/sistemas/bie/	Inflación en EE.UU	http://stats.oecd.org
Letra del tesoro seis Meses	http://www.inegi.org.mx/sistemas/bie/	Empleo en EE.UU	http://stats.oecd.org
Precios Spot del peso mexicano-dólar	https://www.capitaliq.com	Producto Interno Bruto en EE.UU	http://stats.oecd.org
Inflación de la OECD	http://stats.oecd.org	Desempleo en EE.UU	http://stats.oecd.org
Precios spot del petróleo	Capital IQ https://www.capitaliq.com	Producto Interno Bruto en EE.UU	http://stats.oecd.org
Índice S&P	https://www.capitaliq.com	Oro en Onzas Troy de EE.UU	http://data.imf.org
St. Louis Fed Financial Stress Index	https://fred.stlouisfed.org	Tasas de interés EE.UU	http://stats.oecd.org
Tasa Libor tres Meses	http://www.inegi.org.mx/sistemas/bie/	Reservas de EE.UU excluyendo oro	http://data.imf.org
Tasa Libor tres Meses	http://www.inegi.org.mx/sistemas/bie/	Desempleo en EE.UU	http://stats.oecd.org
Índice de Precios al Consumidor en Reino Unido	http://stats.oecd.org	Precios spot del oro	Capital IQ https://www.capitaliq.com
Inflación de Reino Unido	http://stats.oecd.org		

Fuente: Ramírez (2017), con datos diversas fuentes

Determinantes económicas-financieras del precio del oro de 1987 a 2016: Una propuesta usando redes neuronales

IV. 2 Topología de las redes neuronales artificiales

Esta sección contrasta el error de dos topologías de RNA. Se realiza esta comparación para observar cual es la más eficiente al medir los impactos de las variables económico-financieras sobre el precio del oro.

Para ambas topologías se utilizan los mismos datos obtenidos para los distintos periodos de tiempo, así como las mismas neuronas de entrada y salida. Las neuronas de entrada son las variables macroeconómicas y la neurona de salida es el precio del oro.

El contraste entre las dos RNA reside en la capa oculta, puesto que, aunque ambas cuentan con una sola capa oculta, la primera contiene un nodo y la segunda dos nodos. Se elige una capa oculta basado en que no hay límite teórico de cuántas capas ocultas deben usarse, aunque normalmente se emplean uno o dos (Mombeini y Yazdani-Chamzini, 2015).

Las topologías creadas pueden observarse en la Tabla 3.

Tabla 3. Topología de redes neuronales artificiales

Red con una capa oculta de un nodo	Red con una capa oculta de dos nodos
18-1-1	18-2-1
26-1-1	26-2-1
28-1-1	28-2-1
30-1-1	30-2-1
31-1-1	31-2-1
32-1-1	32-2-1

Elaboración propia

Para elegir la red óptima se toman como base los errores de entrenamiento y de prueba. Así mismo, se depuran los errores mayores al promedio general. El tipo de red utilizada es la de Perceptron Multicapa y se hace uso del mismo software: SPSS 20 de IBM.

Determinantes económicas-financieras del precio del oro de 1987 a 2016: Una propuesta usando redes neuronales

IV. 3 Rendimientos

Esta sección busca comparar los rendimientos de los índices de mercado de valores más representativos dentro de la OECD con el rendimiento del oro, bajo la hipótesis de que el oro muestra rendimientos similares a los del mercado de valores desde 1987 hasta 2016. La razón principal de la comparación es saber si el oro es un refugio seguro para los inversores cuando el mercado de valores cae según lo dicho por El Hedi Arouri et al. (2015).

Para esta comparación, se obtienen los máximos históricos diarios de cada variable y se hace uso de ventanas de tiempo que abarcan los periodos de:

1987-2016
1992-2016

1997-2016
2001-2016

2007-2016
2012-2016

Estas ventanas se realizan principalmente por dos razones: para ver la evolución de los rendimientos a través del tiempo y para integrar los índices de más reciente creación, como el índice S&P/ASX 200. Este índice representa a la bolsa australiana, cuyo dato más antiguo proviene del 31 de marzo de 2000.

Las variables obtenidas, así como sus fuentes pueden ser observadas más adelante en la Tabla 4.

Para realizar esta comparación se utiliza la fórmula que se muestra en la Ecuación 1.

$$\text{Ecuación 1. Rendimientos} = LN (\text{valor más reciente} / \text{valor anterior})$$

Se obtienen fluctuaciones, como lo hicieron Jiménez (2014), en el caso del oro e inflación; y, Malliaris & Malliaris (2013) cuando buscaron una relación entre el oro, el petróleo y el euro. Esta fórmula es aplicada dado que el uso de logaritmos naturales ayuda a asegurar mejores propiedades de distribución (Hoang et al., 2016). Las fluctuaciones calculadas son anuales

Determinantes económicas-financieras del precio del oro de 1987 a 2016: Una propuesta usando redes neuronales

Tabla 4. Fuentes de los índices más representativos de la OECD y el oro

Variables	Fuente	Variables	Fuente
Precios spot del oro	Capital IQ https://www.capitaliq.com	Índice Nasdaq	Capital IQ https://www.capitaliq.com
Índice FTSE	Capital IQ https://www.capitaliq.com	Índice Eurostoxx	Capital IQ https://www.capitaliq.com
Índice Dow Jones	Capital IQ https://www.capitaliq.com	Índice IPC	Capital IQ https://www.capitaliq.com
Índice S&P 500	Capital IQ https://www.capitaliq.com	Índice Nikkei	Capital IQ https://www.capitaliq.com
Índice S&P / ASX 200	Capital IQ https://www.capitaliq.com		

Fuente: Ramírez (2017), con datos de CAPITAL IQ <https://www.capitaliq.com>

Determinantes económicas-financieras del precio del oro de 1987 a 2016: Una propuesta usando redes neuronales

Capítulo V. Resultados empíricos

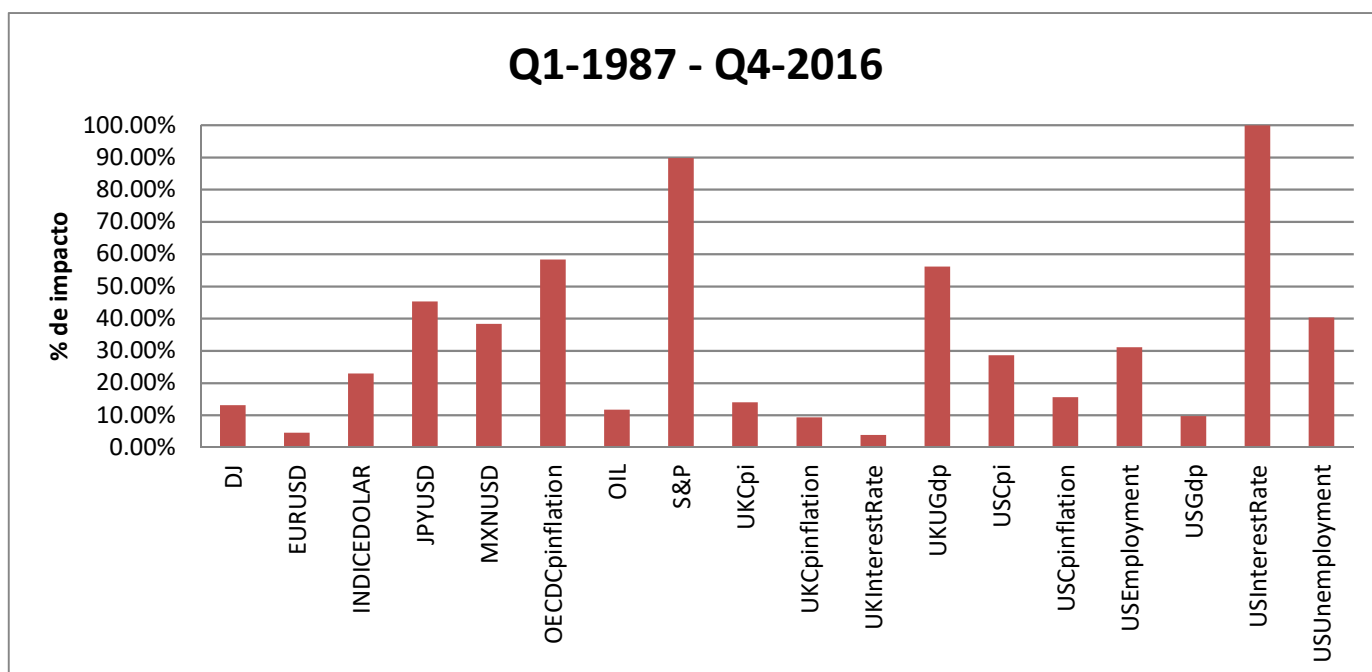
V. 1 Aplicación de redes neuronales artificiales

Se utilizan RNA para medir el impacto de las variables económico-financieras sobre el precio del oro dentro de seis periodos.

Periodo de 1987 a 2016

Dentro del primer periodo de análisis que abarca el Q1-1987 a Q4-2016 se encuentra que la RNA con topología 18-2-1 identifica cinco variables que impactaron al precio del oro: Las tasas de interés de Estados Unidos (100%), el índice Standard & Poor's 500 (89.8%), la inflación de la OECD (58.3%), el Producto Interno bruto de Reino Unido (56.1%) y la divisa yen-dólar (45.3%) como puede observarse en la Gráfica 23. La topología opera con un error de 0.017 durante el entrenamiento y 0.24 durante la prueba.

Gráfica 23. Impacto de las variables económico-financieras sobre el precio del oro durante el periodo de 1987 a 2016



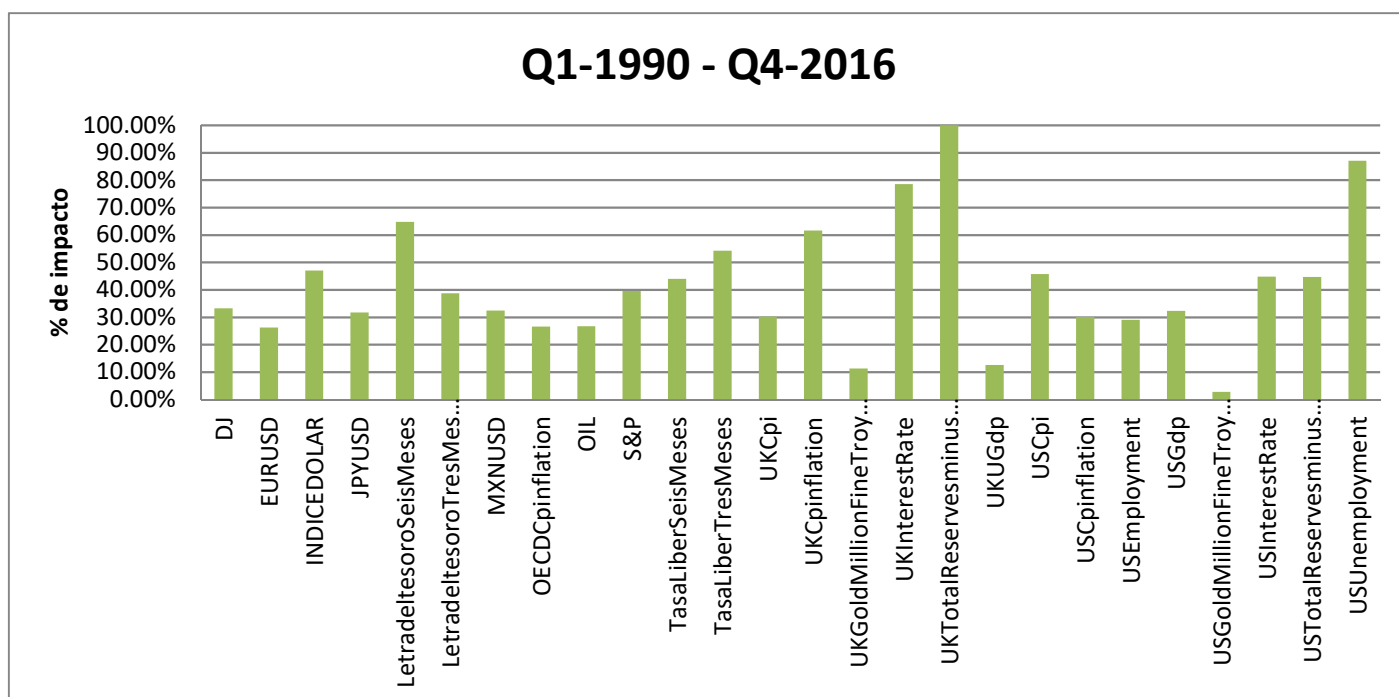
Fuente: Ramírez (2017), con resultados del modelo simulado en el software SPSS.

Determinantes económicas-financieras del precio del oro de 1987 a 2016: Una propuesta usando redes neuronales

Periodo de 1990 a 2016

Durante el segundo periodo que abarca el Q1-1990 a Q4-2016, la RNA con topología 26-2-1 identifica que las cinco variables que impactan en mayor proporción al precio del oro son: Las reservas internacionales británicas que no incluyen oro (100%), el desempleo en Estados Unidos (87%), las tasas de interés de Reino Unido (78.5%), las Letras del Tesoro a seis meses (64.7%) y la inflación en Reino Unido (61.6%) como puede observarse en la Gráfica 24. La topología opera con un error de 0.016 durante el entrenamiento y 0.22 durante la prueba.

Gráfica 24. Impacto de las variables económico-financieras sobre el precio del oro durante el periodo de 1990 a 2016



Fuente: Ramírez (2017), con resultados del modelo simulado en el software SPSS.

Determinantes económicas-financieras del precio del oro de 1987 a 2016: Una propuesta usando redes neuronales

Periodo de 1994 a 2016

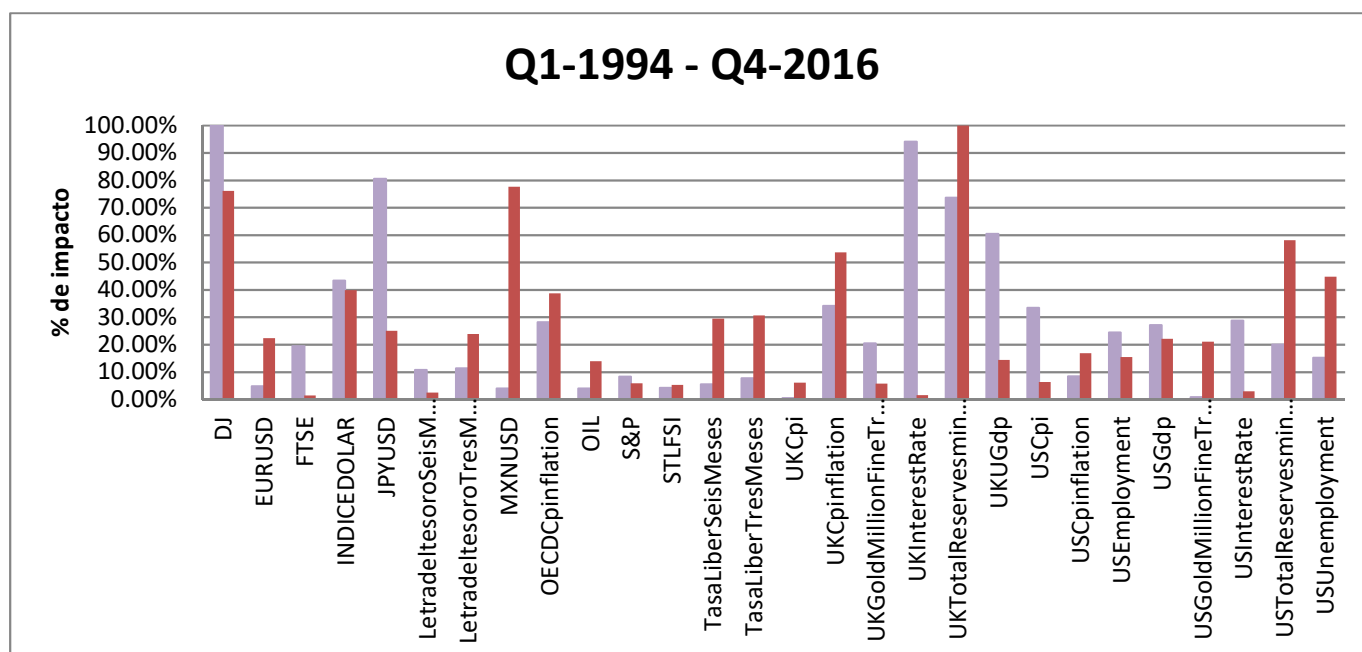
Durante el periodo de Q1-1994 a Q4-2016, la RNA con topología 28-2-1 identifica que las variables que impactan de manera significativa al precio del oro son: El índice Dow Jones (100%) durante la segunda partición y las reservas internacionales británicas que no incluyen oro (100%) durante la tercera partición. Ambas variables rebasan el 73% de impacto tanto en la segunda y tercera partición.

Durante la segunda partición aparecen variables con alto porcentaje de impacto como lo son: la divisa Yen-dólar (80.5%), y la tasa de interés de Reino Unido (94.1%) pero este porcentaje no concuerda al compararlo con la tercera partición puesto que sus niveles son menores, 25% y 1.5% respectivamente.

Lo mismo ocurre durante la tercera partición, la divisa peso mexicano-dólar aparece con 77.6% de impacto pero este porcentaje es menor durante la segunda partición, 4%. Ambas situaciones pueden observarse en la Gráfica 25.

Durante esta prueba, la topología opera con un error de 0.036 durante el entrenamiento y 0.723 de prueba durante la segunda partición y con un error de 0.058 durante el entrenamiento y 0.384 durante la tercera partición.

Gráfica 25. Impacto de las variables económico-financieras sobre el precio del oro durante el periodo de 1994 a 2016



Fuente: Ramírez (2017), con resultados del modelo simulado en el software SPSS.

Determinantes económicas-financieras del precio del oro de 1987 a 2016: Una propuesta usando redes neuronales

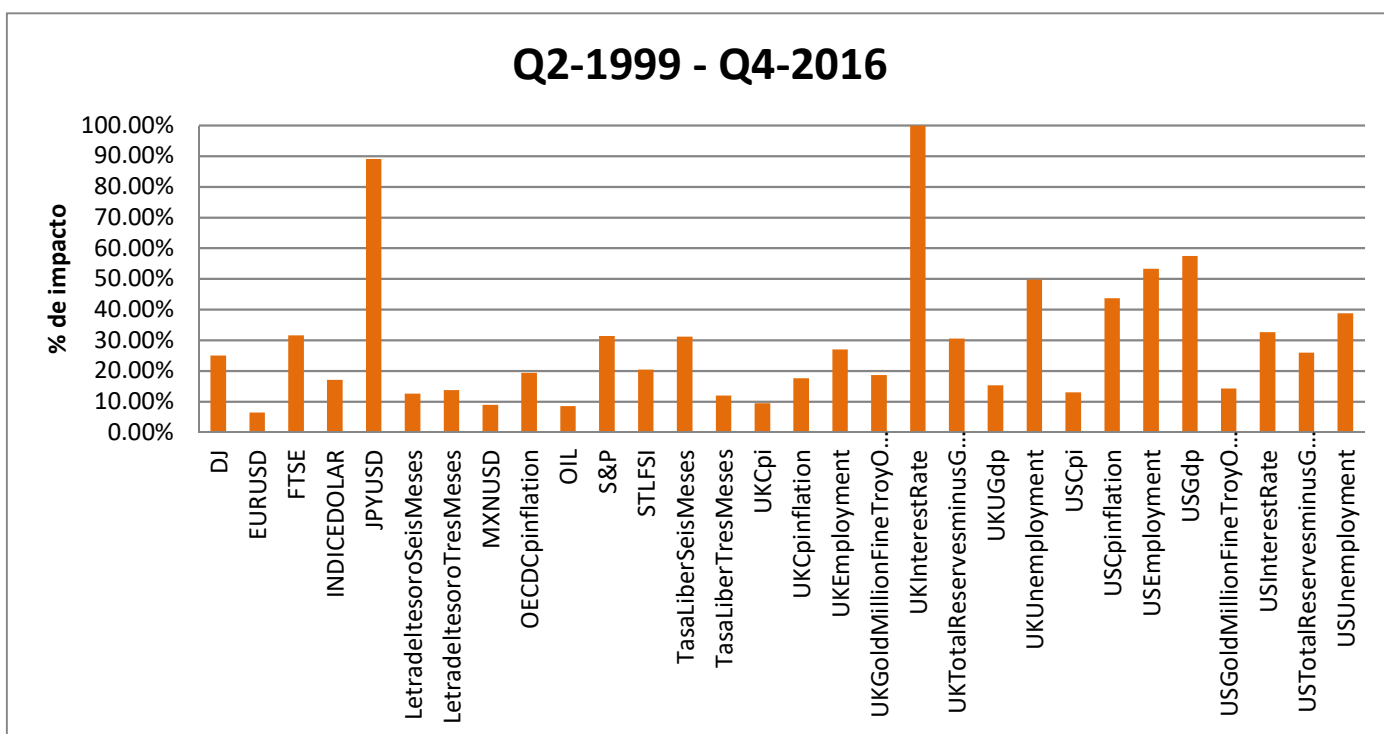
Periodo de 1999 a 2016

Durante el periodo de Q2-1999 a Q4-2016, las RNA con topología 30-1-1 y 30-2-1 son las encargadas de identificar las variables con mayor impacto. Basándonos en sus errores de entrenamiento y de prueba, la topología 30-2-1 durante su segunda partición es la óptima no sólo del periodo, sino de todos los periodos analizados.

Esta topología identifica a las variables: tasas de interés de Reino Unido (100%) y divisa yen-dólar (89%) como las más relevantes. Estas variables si bien no reflejan el mismo impacto durante el resto de las topologías y particiones del periodo, si muestran consistencia puesto que la tasa de interés de Reino Unido no sale del rango de 39.3% y 100%, y la divisa fluctúa entre 30.8% a 95.3% lo cual puede observarse en la Gráfica 26.

Otras variables que muestran esta consistencia, pero en rangos de impacto menores, son: el índice FTSE, la Tasa Libor a seis meses, Tasa de interés de Estados Unidos y desempleo en Reino Unido.

Gráfica 26. Impacto de las variables económico-financieras sobre el precio del oro durante el periodo de 1999 a 2016 (topología 30-2-1)



Fuente: Ramírez (2017), con resultados del modelo simulado en el software SPSS.

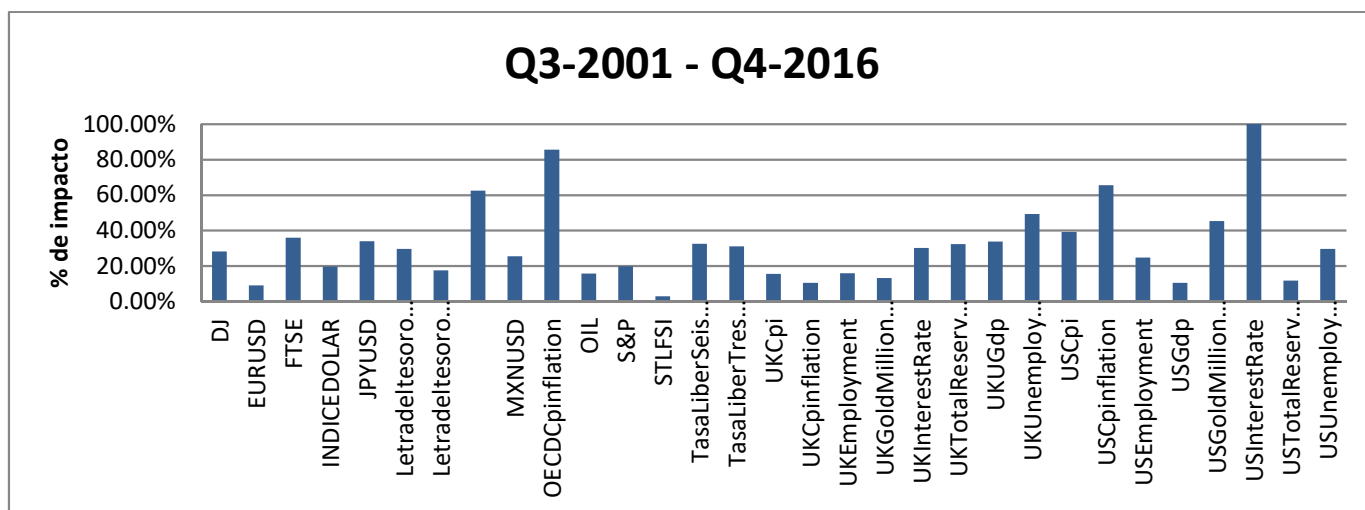
Determinantes económicas-financieras del precio del oro de 1987 a 2016: Una propuesta usando redes neuronales

Periodo de 2001 a 2016

Durante el periodo de Q3-2001 a Q4-2016 las RNA, con topología 31-1-1 y 31-2-1 son las encargadas de identificar las variables con mayor impacto. Basándonos en sus errores de entrenamiento y de prueba, la topología 31-2-1 durante la partición tres y las topologías 31-1-1 durante las particiones dos y tres son las más precisas, en ese orden, para medir los impactos de las variables.

Sin embargo, al comparar los resultados no hay consistencia entre ellos. La primera topología define al índice dólar como la más relevante, la segunda topología al peso mexicano-dólar y la tercera topología a la tasa de interés de Estados Unidos. Sólo se halla consistencia con las siguientes variables: la inflación de la OECD, el índice FTSE, el desempleo en Reino Unido, los niveles de precios en Estados Unidos. Estas variables si bien no reflejan un alto nivel de impacto fluctúan entre 35.9% y 85.5% como puede observarse en la Gráfica 27, Gráfica 28 y Gráfica 29.

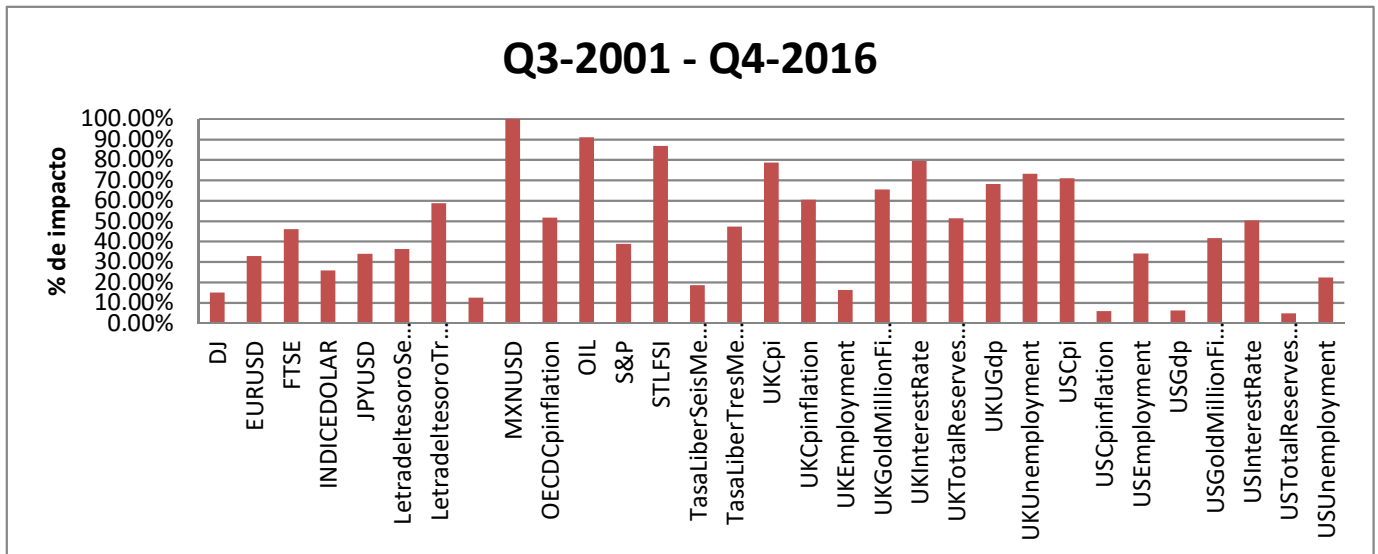
Gráfica 27. Impacto de las variables económico-financieras sobre el precio del oro durante el periodo de 2001 a 2016 (topología 31-1-1 p2)



Fuente: Ramírez (2017), con resultados del modelo simulado en el software SPSS.

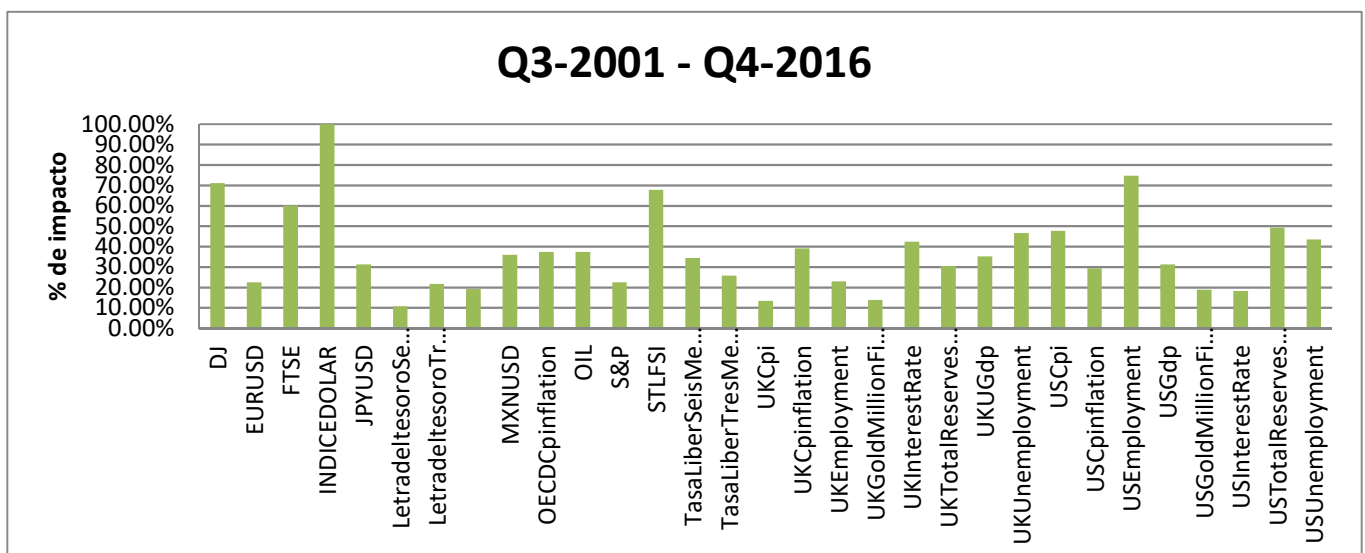
Determinantes económicas-financieras del precio del oro de 1987 a 2016: Una propuesta usando redes neuronales

Gráfica 28. Impacto de las variables económico-financieras sobre el precio del oro durante el periodo de 2001 a 2016 (topología 31-1-1 p3)



Fuente: Ramírez (2017), con resultados del modelo simulado en el software SPSS.

Gráfica 29. Impacto de las variables económico-financieras sobre el precio del oro durante el periodo de 2001 a 2016 (31-2-1 p3)



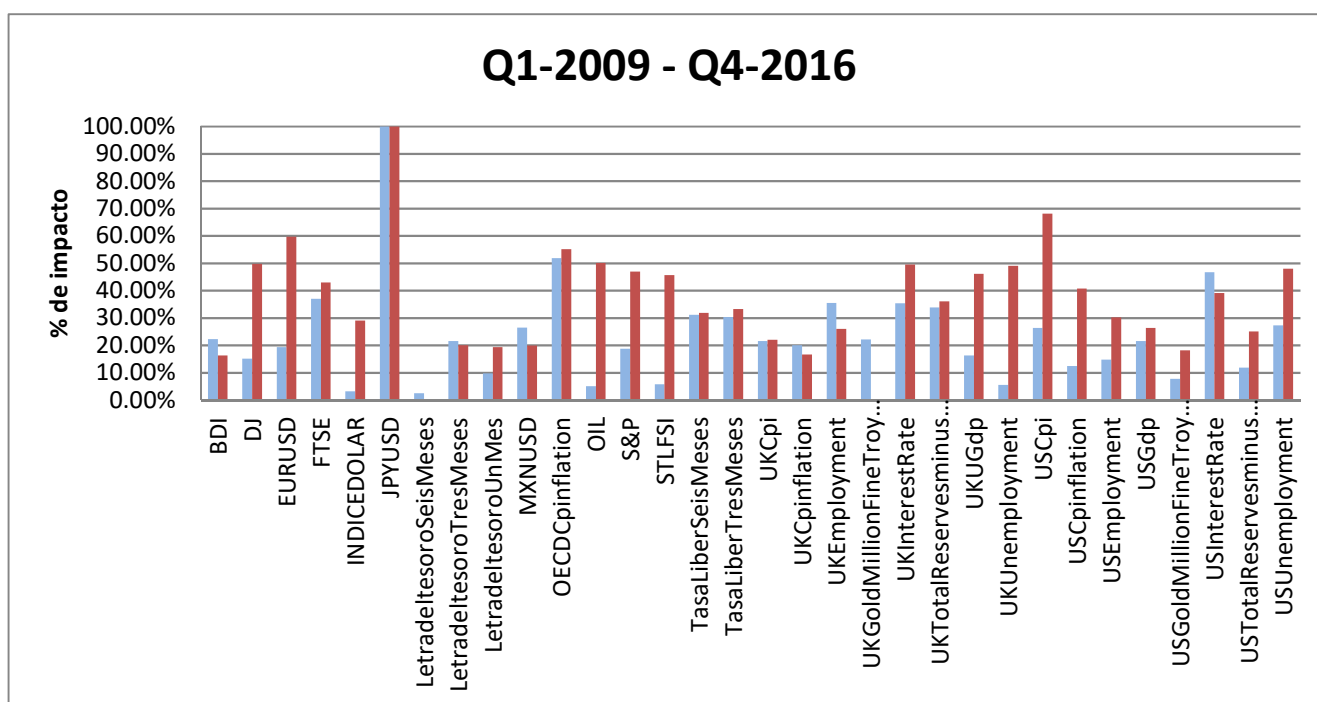
Fuente: Ramírez (2017), con resultados del modelo simulado en el software SPSS.

Determinantes económicas-financieras del precio del oro de 1987 a 2016: Una propuesta usando redes neuronales

Periodo de 2009 a 2016

Durante el periodo de Q1-2009 a Q4-2016, las RNA con topología 32-2-1 identifican que la variable que impacta al precio del oro de forma más significativa es el yen-dólar (100%) tanto en la partición dos y cuatro. Ninguna otra variable supera un nivel de 75% como puede apreciarse en la Gráfica 30. La topología opera con un error de 0.027 durante el entrenamiento y 0.204 durante la prueba en la segunda partición con un error de 0.024 durante el entrenamiento y 0.297 durante la prueba dentro de la cuarta partición.

Gráfica 30. Impacto de las variables económico-financieras sobre el precio del oro durante el periodo de 2009 a 2016



Fuente: Ramírez (2017), con resultados del modelo simulado en el software SPSS..

Si se han de descartar las variables que no tienen impacto significativo en el precio del oro la primera es el Baltic Dry Index ya que su inclusión dentro del periodo de 2009 a 2016 no es relevante al compararla con el resto de las variables puesto que al probar la topología 33-2-1 resulta con un impacto de 22.3% y 16.3%.

La segunda variable por descartar son las reservas de oro en onzas troy de Estados Unidos ya que en ningún momento logra superar el 45.4% el cual fuese su máximo nivel de impacto en el periodo de 2001 a 2016.

Determinantes económicas-financieras del precio del oro de 1987 a 2016: Una propuesta usando redes neuronales

Similar es el caso de la Tasa libor a tres meses y seis meses. La Tasa libor a tres meses sólo alcanza un nivel de 54.2% durante el periodo de 1990 a 2016 y la Tasa libor a seis meses alcanza un nivel de impacto de 57.7%. Otra variable que no parece impactar al precio del oro son las Letras del Tesoro de Estados Unidos a tres meses, puesto que no superan un nivel de impacto del 58%.

Las reservas de Estados Unidos excluyendo al oro tampoco impactan consistentemente pues su nivel de impacto osciló entre 11.8% y 58%.

Por el contrario existe una variable que a pesar de no impactar consistentemente el precio del oro logra alcanzar niveles de impacto de 57.8% para el periodo de Q2-1999 a Q4-2016 y 59.70% durante el Q1-2009 - Q4-2016 cuando los errores de prueba son comparablemente bajos, 0.22 y 0.297 respectivamente. Esta variable fue el Euro-dólar.

En resumen y de manera general las variables que más veces rebasan un 75% de impacto son: Las reservas británicas sin tomar en cuenta oro, tasa de interés británicas, yen-dólar y peso-dólar.

Las variables que nunca superan este porcentaje de 75% de impacto son: Reservas de oro en onzas troy, Producto interno bruto, inflación, euro-dólar, Baltic Dry Index, Letras del Tesoro, Empleo Británico, índice FTSE y Tasa Libor.

En cuanto a las matrices de correlación, los resultados arrojan que para el periodo de 1987 a 2016 el oro tiene una relación lineal positiva con el petróleo, índice de precios al consumidor de Reino Unido, índice de precios al consumidor de Estados Unidos, Producto Interno Bruto de Reino Unido y Producto Interno Bruto de Estados Unidos. Es decir, que las variables y el oro aumentan o disminuyen linealmente en la misma dirección.

Por el contrario el precio del oro presenta una correlación lineal negativa con la tasa de interés de Estados Unidos, la tasa de Interés de Reino Unido, yen japonés, índice dólar y la inflación de la Unión Europea, es decir, al aumentar el valor de una variable, la otra disminuye.

Para el periodo de 1990 a 2016, el petróleo, el índice de precios al consumidor de Reino Unido y índice de precios al consumidor de Estados Unidos siguen mostrando correlación lineal positiva con el precio del oro. Al incluir nuevas variables a este periodo de análisis se encuentra que las reservas británicas y estadounidenses que no incluyen oro también tienen una correlación lineal positiva incluso mayor que las tres variables mencionadas.

Para este periodo las letras del tesoro y tasas de interés son las cinco variables que mayor correlación negativa muestran respecto al oro.

Para los subperiodos posteriores, se integran variables al análisis, sin embargo, no muestran correlación lineal observable con el oro y es por eso que se mantienen las mismas variables del periodo 1994 a 2016 con su respectiva correlación lineal positiva y negativa. En la Tabla 8 dentro del apéndice pueden observarse las diez variables

Determinantes económicas-financieras del precio del oro de 1987 a 2016: Una propuesta usando redes neuronales

que tienen una relación lineal con el precio del oro, cinco con relación directa y cinco con relación inversa dentro de cada subperiodo.

Determinantes económicas-financieras del precio del oro de 1987 a 2016: Una propuesta usando redes neuronales

V. 2 Topología de las redes neuronales

Se contrastan dos topologías de RNA para medir los impactos de las variables económico-financieras en el precio del oro. La primera con una capa oculta y un nodo, la segunda con una capa oculta y dos nodos.

El contraste arroja que la mayoría de las topologías que muestran los errores mínimos (dándole preferencia a los errores de prueba) son las que están construidas con dos nodos.

La mejor topología es 30-2-1 durante la segunda partición con un error de entrenamiento de 0.009 y un error de prueba de 0.07. Esta topología tiene los errores más bajos de todos, tanto en la fase de prueba como la fase de entrenamiento.

Las siguientes mejores topologías están igualmente compuestas por dos nodos: 32-2-1, 26-2-1, 18-2-1 y 31-2-1. Los errores más altos, ya fuese durante la fase de entrenamiento y/o fase de prueba, están ligadas con las topologías con un nodo como lo son la topología 28-1-1, 31-1-1 y 30-1-1. Esto puede ser observado en la Tabla 5.

Las variables mostradas en la Tabla 6 pertenecen a las cinco tipologías más eficientes, es decir, con los menores errores por lo que son las que más impacto ejercen en el precio del oro.

Tabla 5. Errores de entrenamiento y prueba de las topologías por debajo del promedio general

	Q1-1987 - Q4-2016	Q1-1990 - Q4-2016	Q1-1994 - Q4-2016		Q2-1999 - Q4-2016				Q3-2001 - Q4-2016			Q1-2009 - Q4-2016	
	Topología	Topología	Topología		Topología				Topología			Topología	
	18-2-1	26-2-1	28-1-1.		30-1-1	30-2-1			31-1-1		31-2-1	32-2-1	
Partición	3	3	2	3	3	2	3	4	2	3	3	2	4
Training error	0.017	0.016	0.036	0.058	0.054	0.009	0.015	0.046	0.026	0.052	0.007	0.027	0.024
Testing error	0.24	0.22	0.723	0.384	0.411	0.07	0.333	0.495	0.361	0.705	0.249	0.204	0.297

Fuente: Ramírez (2017), con resultados del modelo simulado en el software SPSS.

Determinantes económicas-financieras del precio del oro de 1987 a 2016: Una propuesta usando redes neuronales

Tabla 6. Variables que más impactan al precio del oro a lo largo de 1987 a 2016

Variable económico financiera	Porcentaje de impacto (tipologías: 30-2-1, 32-2-1, 26-2-1, 18-2-1 y 31-2-1)
JPYUSD	59.44%
UKInterestRate	52.04%
UKTotalReservesminusGold	48.68%
USInterestRate	48.46%
USUnemployment	47.36%
FTSE	42.90%
USEmployment	40.58%
S&P	40.38%
OECDcpinflation	38.70%
INDICEDOLAR	38.04%
TasaLiborSeisMeses	35.13%
UKUnemployment	33.93%
USTotalReservesminusGold	32.93%
USCpi	32.26%
DJ	31.50%
STLFSI	31.33%
TasaLiborTresMeses	30.55%
USGdp	30.46%
UKCpinflation	29.52%
UKEmployment	28.47%
MXNUSD	28.42%
UKUGdp	27.10%
USCpinflation	26.24%
LetradeltesorotresMeses	23.88%
LetradeltesoroseisMeses	22.63%
BDI	22.30%
OIL	17.88%
UKCpi	17.68%
UKGoldMillionFineTroyOunces	16.45%
EURUSD	15.80%
LetradeltesorounMes	14.40%
USGoldMillionFineTroyOunces	10.90%

Fuente: Ramírez (2017), con resultados del modelo simulado en el software SPSS.

Determinantes económicas-financieras del precio del oro de 1987 a 2016: Una propuesta usando redes neuronales

V. 3 Rendimientos

Al comparar los rendimientos anuales de los índices más representativos del mercado de valores con el rendimiento del oro, de 1987 a 2016, se encuentra que el índice que tiene mayores rendimientos anuales es el IPC de México con 23.18%; en quinto lugar, se encuentra el oro con 3.18% y en último lugar el Nikkei de Japón con 0.29%.

Para el subperiodo de 1992 a 2016, se mantiene el orden en cuanto a qué activo ofrecía mayores rendimientos. El índice que tiene mayores rendimientos es el IPC de México con 18.85%; en quinto lugar, el oro con 4.21% y en último lugar el Nikkei de Japón con una pérdida de 0.55%.

Durante este periodo y el periodo anterior, tanto el índice FTSE 100, como el EURO STOXX y el ASX 200 no están incluidos debido a que todavía no iniciaban operaciones.

Para el subperiodo de 1997 a 2016, el índice que tiene mayores rendimientos continúa siendo el IPC de México con 13%. El oro es ahora el tercero con rendimientos de 5.35%. El más bajo continúa siendo el Nikkei de Japón con 0.20%.

Hasta este momento el índice EURO STOXX de Europa y ASX 200 de Australia seguían sin incluirse.

Para el subperiodo de 2001 a 2016, el índice que tiene mayores rendimientos es de nuevo el IPC de México con 12.71%. El oro por su parte asciende y se coloca como el segundo activo que mayor rendimiento ofreció con 8.48%. En último lugar ya no se sitúa el Nikkei, sino el EURO STOXX con una pérdida de 1.57%.

Cabe mencionar que los rendimientos del IPC de México van disminuyendo conforme la ventana de tiempo va acortándose, mostrando un comportamiento contrario al oro. También es relevante mencionar que a partir de este periodo todos los índices ya contaban con información histórica para su comparación.

Dentro de la Gráfica 31 se pueden observar los rendimientos de los índices y el rendimiento del oro, además de su relación inversa durante los años de 2008 y 2013.

Para el subperiodo de 2007 a 2016, el índice que tiene mayores rendimientos es el IPC de México con 23.18%; El oro ocupa el tercer lugar con 3.18% y el más bajo es el EURO STOXX con una pérdida de 2.04%.

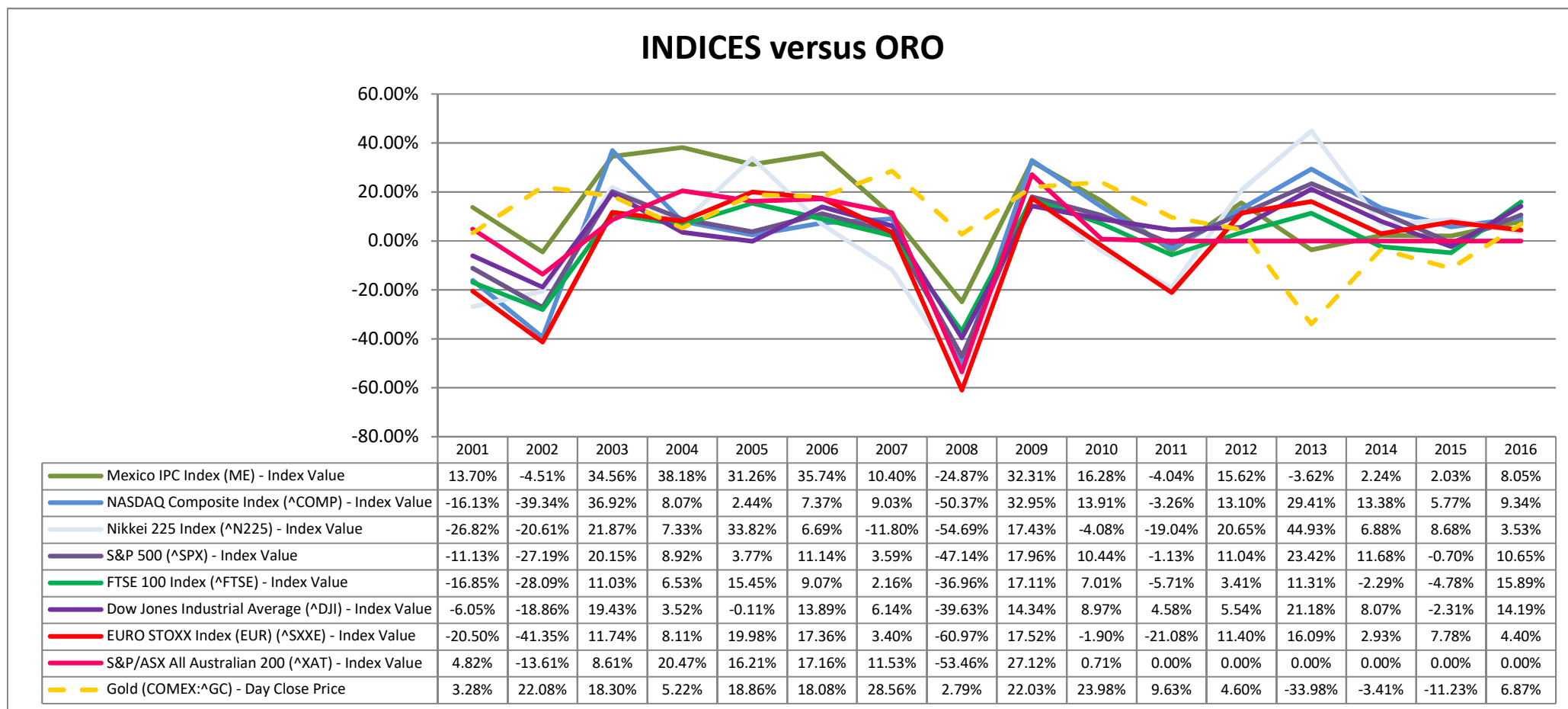
Para el subperiodo de 2012 a 2016, el índice que tiene mayores retornos es el Nikkei de Japón con 16.93% seguido del índice NASDAQ de EE. UU con 14.20%; el más bajo es el oro con la pérdida más acentuada, -7.43%.

Es de notarse que la desviación estándar del oro es la segunda más alta de este periodo.

Las desviaciones estándar y las medias mencionadas se pueden ver en la Tabla 17 y Tabla 18 dentro del apéndice.

Determinantes económicas-financieras del precio del oro de 1987 a 2016: Una propuesta usando redes neuronales

Gráfica 31. Rendimientos del oro y de los principales índices



Fuente: Ramírez (2017), con datos de CAPITAL IQ <https://www.capitaliq.com>

Determinantes económicas-financieras del precio del oro de 1987 a 2016: Una propuesta usando redes neuronales

Resumen Parte II

Datos y metodología

Todas las posibles variables que afectan el precio del oro son obtenidas con base en los estudios previos que las relacionan con el metal.

El estudio está conformado en tres partes: primero se aplican redes neuronales artificiales (RNA) para determinar las variables económico-financieras que tienen mayor impacto en el precio del oro; después se comparan las topologías a uno y dos nodos en la capa oculta para determinar cuál es óptima; finalmente se realiza una comparación de los rendimientos de los principales índices versus los rendimientos del oro.

Los datos son trimestrales y cubren el período de 1987 a 2016. Para las variables que no están presentadas originalmente por trimestres fue necesario utilizar promedios trimestrales.

Adicional al periodo mencionado se crean subperiodos para la inclusión de variables cuyos datos históricos comienzan después de 1987 y para ver como afecta como su inclusión al periodo original. Los subperiodos inician el primer trimestre de 1990, primer trimestre de 1994, segundo trimestre de 1999 y el tercer trimestre de 2001, todos finalizando al cuarto trimestre de 2016. El número total de observaciones es 3,846.

Se hace uso de una RNA de tipo perceptron multicapa debido a que puede aprender y aproximarse con precisión a cualquier conjunto de funciones.

El tipo de aprendizaje empleado es supervisado y basado en corrección del error utilizando el algoritmo de *backpropagation*.

El tipo de entrenamiento utilizado es *batch* con un algoritmo de optimización de gradiente descendente.

Las variables económico-financieras funcionan como covariantes y forman las capas de entrada. El precio del oro funciona como variable dependiente, siendo así la capa de salida.

Dos topologías de capa oculta son probadas con una función de activación tangente hiperbólica.

La red es entrenada con 75% de los datos y el 25% restante sirve para prueba. Se hace uso de cuatro particiones.

El software utilizado para correr las RNA con Perceptrón Multicapa es SPSS 20 de IBM.

Determinantes económicas-financieras del precio del oro de 1987 a 2016: Una propuesta usando redes neuronales

Resultados empíricos

Dentro del primer periodo de análisis que abarca el Q1-1987 a Q4-2016 se encuentra que la RNA con topología 18-2-1 identifica cinco variables que impactan al precio del oro: Las tasas de interés de Estados Unidos (100%), el índice Standard & Poor's 500 (89.8%), la inflación de la OECD (58.3%), el Producto Interno bruto de Reino Unido (56.1%) y la divisa yen-dólar (45.3%).

La mayoría de las topologías que muestran los errores mínimos son las que están construidas con dos nodos.

La mejor topología es 30-2-1 durante la segunda partición con un error de entrenamiento de 0.009 y un error de prueba de 0.07. Esta topología tiene los errores más bajos de todos, tanto en la fase de prueba como la fase de entrenamiento.

Las topologías óptimas muestran que las dos variables tipo de cambio yen dólar y tasas de interés de Reino Unido son las que más impactan al precio del oro. Por el contrario, las Letras del Tesoro a un mes y las reservas de oro en onzas troy de Estados Unidos como las dos variables que menos afectan al metal precioso.

Al comparar los rendimientos anuales de los índices más representativos del mercado de valores con el rendimiento del oro, de 1987 a 2016, se encuentra que el índice que tiene mayores rendimientos anuales es el IPC de México con 23.18%; en quinto lugar se encuentra el oro con 3.18% y en último lugar el Nikkei de Japón con 0.29%.

Determinantes económicas-financieras del precio del oro de 1987 a 2016: Una propuesta usando redes neuronales

Discusión

Aplicación de redes neuronales artificiales

En la primera hipótesis se propone que el precio del oro es más sensible a los cambios en las reservas internacionales, el índice dólar y el índice Dow Jones.

Específicamente para el periodo de 1987 a 2016, se encuentra que la RNA identifica cuatro variables que afectan al precio del oro con un porcentaje por arriba del 50% de impacto. Estas cuatro variables son las tasas de interés de Estados Unidos (100%), el índice S&P 500 (89.8%), la inflación de la OECD (58.3%) y el Producto Interno bruto de Reino Unido (56.1%).

El que las tasas de interés impactaran en este periodo confirman lo propuesto por Lili & Chengmei, Cai et al. (1990), Jiménez (2014) y Solnik (1993) quienes dijieran que las tasas de interés afectan inversamente a los *commodities*, como lo es el oro (citado en Gutiérrez et al., 2013).

En cuando al índice S&P 500, el que haya impactado contradice las conclusiones de Schulze-Roebbecke (2016) quien lo analiza junto a las letras del Tesoro a, el índice Baltic Dry y la canasta de dólares para tratar de pronosticar los precios de los contratos de futuro del oro, aunque sin éxito. Sin embargo, dentro de los subperiodos creados la situación cambia.

Durante el periodo de 1990 a 2016, las reservas internacionales (sin incluir oro) impactan al precio del oro. Esto coteja el modelo de Septien (1988) quien si bien no incluye las reservas británicas, sí incluye reservas internacionales.

Durante el periodo de 1994 a 2016, el índice Dow Jones hace su aparición entre las variables que afectan el precio del oro. Las reservas británicas (sin incluir oro) vuelven a aparecer entre estas. Ambas variables no sólo mostraron altos niveles de impacto, sino significancia durante las pruebas.

Es en este subperiodo donde se confirma la relación hallada entre el índice Dow Jones y el oro por Gutiérrez et al. (2013) ya que ellos comparan los ciclos de este índice y su relación con el *Gold Fix* mediante utilización de Redes neuronales artificiales tomando datos de 1900 a 2010, encontrando que los precios del oro parecen verse afectados en una relación negativa con los mercados financieros y los indicadores macroeconómicos. Por otra parte, Kristjanpoller & Minutolo (2014) al aplicar una ventana de tiempo más corta a su modelo híbrido hallan que el Dow Jones es dejado fuera de las variables explicatorias lo que podría implicar que el índice impacta al oro pero dentro de un periodo menor.

Durante el periodo de 1999 a 2016, las tasas de interés de Reino Unido y la divisa yen-dólar aparecen. Malliaris & Malliaris (2013) y Tully & Lucey (2007) habían

Determinantes económicas-financieras del precio del oro de 1987 a 2016: Una propuesta usando redes neuronales

sugerido que el fortalecimiento de divisas frente al dólar afectaba al precio del oro, lo cual, durante este periodo, parece evidenciarse.

Durante el periodo de 2001 a 2016, la inflación de la OECD, el índice FTSE, el desempleo en Reino Unido y los niveles de precios de Estados Unidos aparecen mostrando consistencia, aunque sin alto nivel de impacto. Son el índice FTSE y la inflación de la OECD los que muestran mayor impacto. El que aparezca la inflación de la OECD entre las variables que más impactaron concuerda con lo mencionado por Solnik (1993) ya que dice que el precio del oro tiende a subir cuando la inflación se acelera, aceleración que ocurrió específicamente entre 2007 y 2008.

Durante el periodo de 2009 a 2016, la variable yen-dólar aparece con alto nivel de impacto otra vez y de una manera consistente lo cual implicaría que el debilitamiento del dólar frente a otras divisas, específicamente al yen afecta el precio del oro.

Si se descartan las variables que no tienen impacto significativo en el precio del oro estas serían las reservas de oro en onzas troy, producto interno bruto de Reino Unido, inflación estadounidense y británica, euro-dólar, Letras del Tesoro y empleo británico.

La inflación en un solo país no afecta al precio del oro, tendría que ser una inflación generalizada para ocasionar un impacto de gran magnitud, el debilitamiento del dólar frente al euro impacta pero con un porcentaje menor que contra el yen; el índice londinense no impacta en la misma magnitud a como lo hacen los índices estadounidenses como Dow Jones y S&P.

Determinantes económicas-financieras del precio del oro de 1987 a 2016: Una propuesta usando redes neuronales

Debido a que las reservas internacionales aparecieron durante dos subperiodos de estudio, el índice Dow Jones en uno y el índice dólar no apareció en ningún periodo, la hipótesis puede ser parcialmente desechada implicando que las reservas internacionales tanto estadounidenses como británicas si afectan el precio del oro y que el debilitamiento del dólar también, pero ante divisas específicas como el yen.

La segunda hipótesis plantea que el precio del oro respondió con un comportamiento similar a los precios del petróleo, la inflación de Estados Unidos y las reservas internacionales del mismo país. Y, de manera contraria al comportamiento del índice Dow Jones y del índice dólar.

Los resultados arrojaron que a través del periodo y sus subperiodos las variables que siempre se presentaron con una correlación lineal hacia el oro fueron las reservas estadounidenses, las reservas británicas, petróleo, índice de precios al consumidor de Reino Unido e índice de precios al consumidor de Estados Unidos teniendo todos una correlación lineal positiva con el oro, es decir, que en teoría las variables y el oro aumentan o disminuyen linealmente en la misma dirección.

Por el contrario, el precio del oro presentó una correlación lineal negativa y repetitiva con la tasa de interés de Estados Unidos, Tasa Libor a tres y seis meses, Letras del Tesoro a tres y seis meses por lo que al aumentar el valor del oro, la otra disminuye o viceversa.

Por lo que el precio del petróleo, hasta el momento la variable que más se ha estudiado y tratado de relacionar con el oro, mostró un comportamiento lineal positivo similar al del oro pero con un bajo impacto ya que en general no mostró impactos altos a través de las redes neuronales.

Los índices de precios del consumidor estadounidenses y británicos mostraron comportamiento lineal positivo respecto al oro, así que la inflación mostró un comportamiento similar pero de manera indirecta.

Las reservas internacionales de Estados Unidos y Reino Unido mostraron las más altas correlaciones lineales con el oro por lo que su comportamiento fue similar. El porcentaje de impacto que las reservas británicas ejercen sobre el metal fue en general mayores a los del petróleo.

En cuanto al índice Dow Jones y dólar, no se encontró ninguna correlación lineal con el índice Dow Jones; respecto al índice dólar se encontró una significativa correlación lineal negativa con el oro para el periodo de 1987 a 2016, antes que las Letras del Tesoro y Tasas Libor la desplazaran. Ambos índices parecieron impactar en la misma magnitud al precio del oro pero sin un porcentaje que las posicionara como las más significativas.

Determinantes económicas-financieras del precio del oro de 1987 a 2016: Una propuesta usando redes neuronales

Topología de las redes neuronales

La tercera hipótesis en la cual se plantea que la aplicación de inteligencia artificial, específicamente las RNA, es el modo más preciso para cuantificar el impacto que variables económico-financieras tienen sobre el precio del oro puede ser aceptada ya que debido a la revisión de la literatura se puede inferir que las RNA superan a modelos tradicionales como ARIMA, ARCH y GARCH como lo comprueban Camacho (2015), Villar (2013), Hill, O'Connor & Remus (citados en Villar, 2013).

Aun así, hay que probar varias topologías y realizar pruebas para elegir la óptima. Dentro de este estudio dos topologías son comparadas, ambas con una capa oculta, una con un nodo y la otra con dos nodos.

La topología 30-2-1 es la que mejor determinó el impacto de las variables económico-financieras sobre el precio del oro debido a que tanto sus errores de entrenamiento y prueba son los más bajos. En general las topologías basadas en una capa oculta con dos nodos se desempeñaron mejor que las de un solo nodo. Lo que implicaría que a mayor complejidad de la red mejores resultados se obtendrán; sin embargo, se deben tomar en cuenta las advertencias de ocasionar un sobreajuste que desencadenaría que ante datos nuevos la red no los interprete correctamente (Schulze-Roebbecke, 2016).

Determinantes económicas-financieras del precio del oro de 1987 a 2016: Una propuesta usando redes neuronales

Rendimientos

Una de las hipótesis planteadas en el presente estudio estipula que el oro muestra rendimientos similares a los del mercado de valores desde 1987 hasta 2016. Aunque, como puede apreciarse, esto no es así ya que al comparar los rendimientos anuales de los índices más representativos mundialmente con el rendimiento del oro de 1987 a 2016 se encuentra que el índice que tiene mayores rendimientos anuales fue el IPC de México con 23.18%; en quinto lugar, el oro con 3.18%; y en último lugar el Nikkei de Japón con 0.29%.

Adicionalmente, durante todas las ventanas de tiempo analizadas el oro nunca logra superar en promedio a los rendimientos anuales del IPC de México. De hecho, durante el periodo de 2012 a 2016, el oro fue el único activo que conlleva a pérdidas siendo estas pérdidas las más altas de todos los periodos analizados.

Durante la comparación entre los índices y el oro, se observó una relación inversa entre estos especialmente en el 2002 y 2013. En este periodo la mayoría de los índices siguen la misma racha mientras el oro muestra la racha opuesta.

Esta observación concuerda con la de Emrich & McGroarty (2013) cuando advierten que los rendimientos del oro aumentan durante la crisis de 2007 mientras todos los índices tocan incluso sus rendimientos históricos más bajos. La observación también concuerda con Solnik (1993) quien menciona que en general el oro permite diversificar portafolios contra riesgos que afecten a todas las bolsas de valores al mismo tiempo debido a que existe una correlación pequeña, a veces negativa, entre el precio del oro y las acciones.

Centrándonos en portafolios de inversión no se podría llegar a la misma conclusión que llega Rivero-Borrell (1990) acerca de que incluir oro en el portafolio de inversiones produce mayores rendimientos. Pero si mencionar que cuando el rendimiento de la mayoría de las acciones sigue una misma racha los rendimientos del oro siguen la opuesta o bien se frenan ante la racha seguida por las acciones.

Adicionalmente, Solnik (1993) y Rivero-Borrell (1990) mencionan que el oro está ligado al riesgo pues conlleva alta volatilidad y desviación estándar. En el presente trabajo esta desviación estándar resulta ser la segunda más alta en el subperiodo de 2012 a 2016. Durante los demás subperiodos son principalmente el índice Nasdaq y Nikkei los que más riesgo conllevan. Indicando que, efectivamente, el oro es riesgoso pero estos dos índices aún más.

Por otro lado, Gutiérrez et al. (2013) comparan los ciclos del índice Dow Jones y su relación con el Gold Fix encontrando que el precio del oro evoluciona cíclicamente con un período de 37 años por lo que ellos esperaban un alza en el precio del oro a partir de 2015, donde los precios del oro podrían subir a medida que el índice Dow

Determinantes económicas-financieras del precio del oro de 1987 a 2016: Una propuesta usando redes neuronales

Jones cayera. A pesar de que el precio del oro en 2015 refleja rendimientos anuales negativos de 11.23% y se recupera hasta llegar a 6.87% para 2016, es decir, tuvo una diferencia de 18.10%, el índice Dow Jones no cae, es más tiene una diferencia positiva de 16.40% entre 2015 y 2016. Por lo que el ciclo especificado por Gutiérrez et al. (2013) podría no estar bien definido o simplemente es inexistente.

Determinantes económicas-financieras del precio del oro de 1987 a 2016: Una propuesta usando redes neuronales

Conclusiones / limitaciones / recomendaciones

En el presente documento se establecen cuatro hipótesis:

H1: La primera hipótesis propone que el precio del oro es más sensible a los cambios en las reservas internacionales, el índice dólar y el índice Dow Jones; sin embargo, durante el periodo de 1987 a 2016, ninguna de las variables mencionadas parece impactar al precio del oro.

En dicho periodo, influye principalmente, las tasas de interés de Estados Unidos y el índice S&P 500, no el Dow Jones.

Al crear subperiodos, las reservas internacionales aparecen durante dos periodos de estudio; el índice Dow Jones en uno; y el índice dólar no aparece en ningún periodo analizado. Se debe mencionar que, las variables que más veces rebasan un 75% de impacto, son las reservas británicas (sin tomar en cuenta oro); tasa de interés británicas, yen-dólar y peso-dólar. Debido a lo anterior la hipótesis puede ser parcialmente desechada.

H2: La segunda hipótesis que propone que el precio del oro responde con un comportamiento similar a los precios del petróleo, la inflación de Estados Unidos y las reservas internacionales de Estados Unidos; y de manera contraria, al comportamiento del índice Dow Jones y del índice dólar, también puede ser parcialmente desechada.

Si bien, los precios del oro y petróleo históricamente han presentado comportamientos similares y correlaciones lineales positivas, mediante RNA no fue posible establecer un impacto como tal; la inflación de Estados Unidos no pareció tener correlación lineal ni impactar al oro; las reservas internacionales de Estados Unidos y de Reino Unido muestran una correlación lineal con el oro; sin embargo, son las reservas internacionales británicas las que mayor porcentaje de impacto tienen en el precio del oro.

Respecto al índice dólar y Dow Jones, el índice dólar muestra una correlación lineal negativa con el precio del oro, más no resulta con un impacto considerable en el precio del oro; aunque, no se muestra una correlación lineal negativa entre el índice Dow Jones y el precio del oro, en cuestión de impactos el índice Dow Jones aparece como consiste durante el periodo de 1994 a 2016. A esto se le puede agregar que durante la comparación de los rendimientos de ambos activos se observa una relación inversa. El precio del oro de hecho se incrementa en 2015 moviéndose de un -11% a un 6% de rendimiento anual.

H3: La tercera hipótesis, en la cual se dice que la aplicación de inteligencia artificial, específicamente las RNA, es el modo más preciso para cuantificar la sensibilidad que el precio del oro tiene ante las variables económico-financieras es aceptada; sin embargo, si bien, son fáciles de usar, hay que probar varias topologías y realizar

Determinantes económicas-financieras del precio del oro de 1987 a 2016: Una propuesta usando redes neuronales

pruebas para elegir la óptima. Dentro de este estudio dos topologías son comparadas, ambas con una capa oculta, una con un nodo y la otra con dos nodos.

En general, las topologías basadas en una capa oculta con dos nodos se desempeñaron mejor que las de un solo nodo. La topología 30-2-1 es la que mejor determina el impacto de las variables económico-financieras sobre el precio del oro, debido a que tanto sus errores de entrenamiento y prueba son los más bajos.

H4: La última hipótesis, en la que se estipula que el oro muestra rendimientos similares a los del mercado de valores, desde 1987 hasta 2016, es rechazada ya que, durante todas las ventanas de tiempo analizadas, nunca logra superar los rendimientos anuales del IPC de México. De hecho, durante el periodo de 2012 a 2016, el oro fue el único activo que conlleva a pérdidas.

Los resultados del presente trabajo implican que por alguna razón la relación entre la devaluación del dólar respecto al yen afectan el precio del oro por lo que esta variable debería ser estudiada a fondo para establecer si existe una causalidad de este tipo de cambio con el oro.

Por un lado se confirma que las tasas de interés tanto británicas como estadounidenses impactan en gran medida al precio del oro como lo habían dicho Lili & Chengmei, Cai et al. (1990), Jiménez (2014) y Solnik (1993) (citado en Gutiérrez et al., 2013). Además, las reservas que no toman en cuenta al oro influyen al precio del oro.

Por otro lado, las reservas de oro en onzas troy no tienen impacto significativo. Lo mismo sucede con las Letras del Tesoro a un mes y el tipo de cambio euro-dólar.

Una de las mayores contribuciones del trabajo es que se toman variables que en previos estudios habían sido analizadas de forma separada. Ahora tomándolas de manera conjunta, se cuantifica que variables económico-financieras son las que tienen mayor impacto en el precio del oro dentro de ventanas de tiempo.

Los resultados de este estudio son relevantes para países con reservas o inversiones en oro, permite retomar aspectos de estrategias de cobertura, administración de derivados y colocación adecuada de activos dentro de un portafolio de inversión como lo sugieren Kristjanpoller et al. (2014) y Emmrich & McGroarty, (2013).

En este documento, además de cuantificar el impacto de las variables económico-financieras, se contrastan topologías de inteligencia artificial y se identifica que ante una mayor complejidad en la red neuronal se puede obtener un cálculo más eficiente. También el estudio logra definir que los rendimientos del oro no sobrepasan a los de los índices.

Dentro de las limitaciones del presente trabajo se debe mencionar que no se usan datos de alta frecuencia debido a la naturaleza de las diferentes variables.

En cuanto a la técnica aplicada, se recomendaría una mezcla entre una red neuronal y otra metodología para potencializar los beneficios de ambos modelos y evitar las limitaciones de los mismos. Esas otras metodologías podrían ayudar al pronóstico de

Determinantes económicas-financieras del precio del oro de 1987 a 2016: Una propuesta usando redes neuronales

precios spot o futuros del oro. Lo cual tendría implicaciones en el pronóstico. La cual, es una actividad clave en los campos de finanzas y economía, tanto para académicos como inversionistas (Chen et al., 2016).

También, se recomendaría estudiar a los demás metales dentro del mercado de metales, por dos razones: la mayor parte de los estudios se han centrado en el oro y han dejado de lado a los demás metales preciosos. A eso se agrega el hecho, de que debido a su clasificación, aplicaciones y modos de fluctuación, esos metales pueden no ser afectados por las mismas variables que afectan al oro.

Determinantes económicas-financieras del precio del oro de 1987 a 2016: Una propuesta usando redes neuronales

Trabajos presentados en Congresos

Título: Macroeconomic variables impact on precious metals

Congreso: VII Congreso de Investigación Financiera FIMEF

Lugar: Huixquilucan, Estado de México, México

Fecha: 25 de agosto de 2017

Autores: Celeste Karen Ramírez Martínez, Eliseo Ramírez Reyes y Arturo Morales Castro

Link: <http://www.imef-eventos.org.mx/2017/fundacion/congreso/>

Título: Analysis of the gold price in dollars through time series and intelligent systems

Conferencia: World Finance Conference

Lugar: Nueva York, NY, EE.UU

Fecha: 31 de julio de 2016

Autores: Celeste Karen Ramírez Martínez y Arturo Morales Castro

Link: <https://www.world-finance-conference.com/conference.php?id=3>

Determinantes económicas-financieras del precio del oro de 1987 a 2016: Una propuesta usando redes neuronales

Referencias

- Baur, D., & Lucey, B. (2010). Is gold a hedge or safe heaven? An analysis of stocks bonds and gold. *Financ. Rev.* 45, 217-229
- Box, G., & Jenkins, G (1970). Time series analysis. *Forecasting and Control*. San Francisco: Holden Day
- Bureau of Labor Statistics (2017). Consultado en <https://www.bls.gov/cpi/home.htm>
- Cai, J., Cheung, Y., & Wong, M. (2001). What moves the gold market? *The Journal of Future Markets*, 21(3), 257-278.
- Camacho, A. (2015). *Análisis Predictivo del precio de la onza de plata pura en pesos mexicanos a través de series temporales y sistemas inteligentes*. (Tesis de Maestría), Universidad Autónoma del Estado de México, México.
- Caminschi, A., & Heaney, R. (2014). Fixing a leaky fixing: short-term market reactions to the London PM gold price fixing. *The Journal of Future Markets*. 34(11), 1003-1039
- Chen, H., Chen, M., & Chiu, C. (2016) The Integration of Artificial Neural Networks and Text Mining to Forecast Gold Futures Prices, *Communications in Statistics – Simulation and Computation*, 45(4), 1213-1225
- Creti, A., Joets, M., & Mignn, V. (2013) On the links between stock and commodity markets´volatility. *Energy Economics*, 37, 16-28
- Duarte, C. (2012). Tasa Libor y autorregulación bancaria, *Ola financiera*, 13, 52-71
- Educarchile (2013). *Esquema de una neurona* [Imagen]. Recuperado de <http://www.educarchile.cl/ech/pro/app/detalle?ID=137486>
- Emmrich, O., & McGroarty, F. J. (2013). Should gold be included in institutional investment portfolios? *Applied Financial Economics*, 23, 1553-1565
- El Hedi Arouri, M., Lahiani, A., & Khuong D. K. (2015) World gold prices and stock returns in China: Insights for hedging and diversification strategies. *Economic modelling*, 44, 273-282
- Enciclopedia virtual Eumed. (2017). Recuperado de <http://www.eumed.net/>
- Federal Reserve Economic Data FRED. (2017). Recuperado de <https://fred.stlouisfed.org/series/STLFSI#0>
- Gutiérrez, M., Franco, G., & Campuzano, C. (2013). Gold prices: Analyzing its cyclical behavior. *Lecturas de Economía*, 113-142.
- Hauptfleisch, M., Putnins, T., & Lucey, B. (2016). Who sets the price of gold? London or New York. *The Journal of Future Markets*, 36(6), 564-586

Determinantes económicas-financieras del precio del oro de 1987 a 2016: Una propuesta usando redes neuronales

- Hoang, T., Lahiani, A., & Heller, D. (2016). Is gold a hedge against inflation? New evidence from a nonlinear ARLD approach. *Economic Modelling*, 54, 54-66
- International Monetary Fund. (2015). recuperado de <http://data.imf.org>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2017). recuperado de <http://www.inegi.org.mx/sistemas/bie/>
- IQ CAPITAL. (2017). Recuperado el 10 de febrero de 2017 de Base de datos Capital IQ
- Jiménez, M. (2014). *Commodities y Ciclo Económico: El oro y el petróleo en América Latina 1960-2012*. (Tesis de Licenciatura). Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Khalifa, A., Miao, H., & Ramchander, S. (2011). Return Distributions and Volatility Forecasting in Metal Futures markets: Evidence from Gold, Silver and Copper. *The Journal of Future Markets*, 31(1), 55-80
- Kristjanpoller, W., Fadic, A., & Minutolo, M. (2014). Volatility forecast using hybrid Neural Network models. *Expert Systems with Applications*, 41(5), 2437-2442
- Kristjanpoller, W., & Minutolo, M. (2015). Gold price volatility: A forecast approach using the Artificial Neural Network-GARCH model. *Expert Systems with Applications*, 42, 7245-7251
- London Bullion Market Association. (2017). Consultado en <http://www.lbma.org.uk/about-us>
- Levin, E., & Wright, R. (2006). Short-run and Long-run determinants of the price of gold. *World Gold Council*. Research Study no. 32. London,
- Malliaris, A. G., & Malliaris, M. (2013). Are oil, gold and the euro inter-related? Time series. *Rev Quant Finan Acc*, 40, 1-11
- Matich, D. J. (2001). *Redes Neuronales: Conceptos Básicos y Aplicaciones*. Universidad Tecnológica Nacional
- Mombeini, H., & Yazdani-Chamzini, A. (2015). Modeling Gold Price via Artificial neural network. *Journal of Economics Business and Management*, 3(7)
- Mostafa, M., & El-Masry, A., (2016). Oil price forecasting using gene expression programming and artificial neural networks. *Economic modelling*, 54, 40-53
- Ntim, C., English, J., Nwachukwu, J., & Wang, Y. (2015). On the efficiency of the gold markets. *International Review of Financial Analysis*, 41, 218-236
- Organisation for Economic Co-operation and Development. (2017). recuperado de <http://stats.oecd.org>

Determinantes económicas-financieras del precio del oro de 1987 a 2016: Una propuesta usando redes neuronales

- QUANDL. (2017). Recuperado de <https://www.quandl.com/data/LLOYDS/BDI-Baltic-Dry-Index>
- Reuters. (2017). Recuperado el 10 de febrero de 2017 de Base de datos Reuters
- Reyes, M. T. (2006). *El Producto Interno Bruto en México; Conceptos, Cobertura temporal, geográfica y económica; ejercicios de pronóstico* (Tesis de Licenciatura) UNAM, México
- Rivero-Borrell, M. (1990). *Consideraciones sobre el oro y su relevancia en un portafolio de inversión*. (Tesis de Licenciatura), Instituto Tecnológico Autónomo de México, México.
- Rojas, J. D. (2004). *Procesos de manufactura aplicados a la joyería en oro y plata*. (Tesis de Maestría), UNAM, México
- Sanchez, F., de Cos, F., Suarez, A., Krzemien, A., & Riesgo, P. (2015). Forecasting the COMEX copper spot price by means of neural networks and ARIMA models. *Resources Policy*, 45, 37-43
- Schulze-Roebecke, L. (2016). *Using Artificial Neural Networks to generate trading signals for crude oil, copper and gold futures*. (Tesis de Maestría), School of Business and Economics, Portugal.
- Sehgal, N., & Pandey, K. (2015). Artificial intelligence methods for oil price forecasting: a review and evaluation. *Energy Syst*, 6, 479-506
- Septien, D. A. (1988). *Oro y plata como instrumento de inversion*. (Tesis de Licenciatura) Instituto Tecnológico Autónomo de México, México.
- Shafiee, S., & Topal, E. (2010) An overview of global gold market and gold price forecasting. *Resources Policy*, 35(3), 178-189
- Solnik, B. (1993). *Inversiones Internacionales*. (2nda ed). Buenos Aires; México: Addison-Wesley Iberoamericana
- Tully, E., & Lucey, B., (2007). A power GARCH examination of the gold market. *Research in International Business and Finance*, 21(2), 316-325
- Urich, T. J. (2000). Modes of fluctuation in Metal Futures Prices, *The Journal of Future Markets*, 20 (3) 219-241
- Villar, M. A. (2013). *Pronóstico del Tipo de Cambio Peso-Dólar Utilizando Redes Neuronales Artificiales* (Tesis de Maestría) UNAM, México
- Villegas, D. (2012). *Tasas de Interés y Política Crediticia de la Banca Comercial en México (1995-2005)*. (Tesis de Maestría) UNAM, México

Determinantes económicas-financieras del precio del oro de 1987 a 2016: Una propuesta usando redes neuronales

Apéndice

Tabla 7. Estadística descriptiva

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desviación Estándar
BDI	32	357.245902	3400.983607	1451.64362309	857.604463058
LetradeltesorounMes	62	.006667	5.110000	1.24903224	1.596867202
UKEmployment	71	26943.560000	31743.680000	29111.84859155	1224.964681463
UKUnemployment	71	4.617021	8.329021	5.96596645	1.211057704
STLFSI	92	-1.553000	4.381000	.01323913	.989127181
FTSE	99	2414.280303	6922.686397	5150.30735886	1230.724184954
LetradeltesorotresMeses	108	.013333	8.023333	2.89830250	2.372798384
LetradeltesoroseisMeses	108	3.250000	10.036667	6.02222224	2.316792699
TasalibortresMeses	108	.230000	8.466667	3.32067901	2.450561026
TasaliborseisMeses	108	.050000	7.743333	2.92030862	2.297877091
USGoldMillionFineTroyOunces	108	261.498899	262.070000	261.64680911	.174815572
UKTotalReservesminusGold	108	28912.700534	132275.678271	52559.97696391	26985.095713224
UKGoldMillionFineTroyOunces	108	9.974749	22.996000	13.71059449	4.414414519
USTotalReservesminusGold	108	53175.309348	142034.388042	80762.44788483	28501.805567958
UKInterestRate	120	.841100	12.316670	5.77626039	2.817529418
USInterestRate	120	1.563333	9.206667	5.12080558	2.142620144
USEmployment	120	111206.000000	152020.300000	133531.34833333	11249.763326198
USUnemployment	120	3.900000	9.933333	6.00749995	1.479208283
UKUGdp	120	1349077.648838	2545994.333864	1956530.76141829	355160.319962650
USGdp	120	8092667.514441	17018692.522897	12663875.79485650	2700968.026510660
UKCpi	120	52.564300	113.492400	84.56388475	16.883015341
USCpi	120	51.194920	110.753800	82.70658750	17.760592129
UKCpinflation	120	0.000000	8.400000	2.67689995	1.787768470
USCpinflation	120	-1.623360	6.223517	2.65572931	1.350241886
OECDcpinflation	120	-.416061	10.486920	3.83062640	2.231466979
OIL	120	14.699839	123.746406	43.77845400	30.218641526
DJ	120	1993.401129	18864.765714	8914.79738083	4705.470517103
S&P	120	255.699844	2184.878787	1026.63715825	528.316045983
EURUSD	120	.639871	1.149064	.84029801	.108925452
JPYUSD	120	77.312228	155.223626	113.32191323	17.378050162
MXNUSD	120	2.735717	19.867571	9.07850336	4.308678710
INDICEDOLAR	120	72.713692	118.207258	91.00346831	10.080290084
GOLD	120	264.724194	1719.317187	658.64207333	432.631990697

Determinantes económicas-financieras del precio del oro de 1987 a 2016: Una propuesta usando redes neuronales

Tabla 8. Matriz de correlación

Q1-1987 - Q4-2016

UKUGdp	USGdp	UKCpi	USCpi	OIL
0.705680371	0.709319233	0.800448786	0.787962841	0.833668955

UKInterestRate	USInterestRate	OECDcpiinflation	JPYUSD	INDICEDOLAR
-0.679226617	-0.746575212	-0.539749293	-0.639702519	-0.576502417

Q2-1999 - Q4-2016

UKTotalReservesmin usGold	USTotalReservesmin usGold	UKCpi	USCpi	OIL
0.841019566	0.91425378	0.803592482	0.791360469	0.829689581

LetradeltresoroTresMeses	LetradeltresoroSeisMeses	TasaLiberTresMeses	TasaLiberSeisMeses	USInterestRate
-0.741942227	-0.73301092	-0.728325071	-0.749932588	-0.750422582

Q1-1990 - Q4-2016

UKTotalReservesmin usGold	USTotalReservesmin usGold	UKCpi	USCpi	OIL
0.841019566	0.91425378	0.803592482	0.791360469	0.829689581

LetradeltresoroTresMeses	LetradeltresoroSeisMeses	TasaLiberTresMeses	TasaLiberSeisMeses	USInterestRate
-0.741942227	-0.73301092	-0.728325071	-0.749932588	-0.750422582

Q3-2001 - Q4-2016

UKTotalReservesmin usGold	USTotalReservesmin usGold	UKCpi	USCpi	OIL
0.841019566	0.91425378	0.803592482	0.791360469	0.829689581

LetradeltresoroTresMeses	LetradeltresoroSeisMeses	TasaLiberTresMeses	TasaLiberSeisMeses	USInterestRate
-0.741942227	-0.73301092	-0.728325071	-0.749932588	-0.750422582

Q1-1994 - Q4-2016

UKTotalReservesmin usGold	USTotalReservesmin usGold	UKCpi	USCpi	OIL
0.841019566	0.91425378	0.803592482	0.791360469	0.829689581

LetradeltresoroTresMeses	LetradeltresoroSeisMeses	TasaLiberTresMeses	TasaLiberSeisMeses	USInterestRate
-0.741942227	-0.73301092	-0.728325071	-0.749932588	-0.750422582

Q1-2009 - Q4-2016

UKTotalReservesmin usGold	USTotalReservesmin usGold	UKCpi	USCpi	OIL
0.841019566	0.91425378	0.803592482	0.791360469	0.829689581

LetradeltresoroTresMeses	LetradeltresoroSeisMeses	TasaLiberTresMeses	TasaLiberSeisMeses	USInterestRate
-0.741942227	-0.73301092	-0.728325071	-0.749932588	-0.750422582

Determinantes económicas-financieras del precio del oro de 1987 a 2016: Una propuesta usando redes neuronales

Conformación de las particiones

En el presente trabajo se hace uso de particiones para separar el conjunto de datos de entrenamiento del conjunto de testeo. Las particiones ubican cuatro cuartiles usando los números 1 y 0.

El número 1 sirve para identificar el conjunto de datos de entrenamiento y el número 0 para el conjunto de datos de testeo.

Tomando en cuenta que el orden de los datos es del más antiguo al más reciente cada conjunto de datos puede ser localizado con base en la Tabla 9.

Tabla 9. Localización del conjunto de datos de entrenamiento y testeo

Partición	Localización del conjunto de datos de entrenamiento	Localización del conjunto de datos de testeo
1°	Segundo, tercer y cuarto cuartil	Primer cuartil
2°	Primer, tercer y cuarto cuartil	Segundo cuartil
3°	Primer, segundo y cuarto cuartil	Tercer cuartil
4°	Primer, segundo y tercer cuartil	Cuarto cuartil

Determinantes económicas-financieras del precio del oro de 1987 a 2016: Una propuesta usando redes neuronales

Tabla 10. *Impacto de variables para el periodo Q1 1987 a Q4-2016*

Q1-1987 - Q4-2016								
Variable	Topología							
	18-1-1				18-2-1			
	1	2	3	4	1	2	3	4
DJ	74.60%	32.70%	100.00%	25.80%	89.10%	74.10%	13.10%	19.40%
EURUSD	28.10%	52.70%	7.70%	14.50%	38.10%	22.80%	4.60%	67.20%
INDICEDOLAR	53.20%	28.30%	41.70%	23.80%	40.00%	10.70%	22.90%	39.80%
JPYUSD	55.40%	6.60%	42.80%	4.70%	33.90%	8.20%	45.30%	28.60%
MXNUSD	79.70%	41.50%	0.70%	12.90%	100.00%	9.50%	38.30%	75.50%
OECDcpinflation	42.30%	10.30%	37.00%	59.50%	21.80%	54.10%	58.30%	81.70%
OIL	100.00%	41.40%	71.30%	100.00%	4.70%	23.10%	11.70%	100.00%
S&P	4.40%	15.10%	83.20%	10.40%	28.50%	17.70%	89.80%	44.00%
UKCpi	41.60%	91.60%	13.40%	36.30%	61.00%	19.00%	14.00%	34.10%
UKCpinflation	45.10%	14.60%	17.50%	16.10%	26.40%	9.30%	9.30%	9.10%
UKInterestRate	74.70%	20.00%	64.80%	8.80%	37.90%	29.30%	3.90%	10.50%
UKUGdp	26.50%	0.30%	58.90%	49.10%	47.90%	4.20%	56.10%	22.60%
USCpi	68.50%	78.50%	42.80%	70.00%	88.60%	20.40%	28.60%	36.10%
USCpinflation	58.30%	62.10%	1.10%	72.60%	30.50%	14.00%	15.60%	78.00%
USEmployment	7.40%	1.30%	2.20%	25.80%	7.80%	17.60%	31.10%	49.00%
USGdp	52.40%	47.40%	3.70%	26.50%	20.90%	37.00%	9.70%	52.70%
USInterestRate	62.40%	18.90%	39.20%	4.50%	38.90%	14.30%	100.00%	36.10%
USUnemployment	71.10%	100.00%	51.80%	3.20%	72.20%	100.00%	40.30%	35.80%
Training relative error	0.189	0.227	0.489	0.096	0.048	0.093	0.017	0.025
Testing relative error	1.091	0.236	0.511	6.967	1.018	0.201	0.24	5.571

Determinantes económicas-financieras del precio del oro de 1987 a 2016: Una propuesta usando redes neuronales

Tabla 11. Impacto de variables para el periodo Q1 1990 a Q4-2016

Q1-1990 - Q4-2016								
Variable	Topología							
	26-1-1				26-2-1			
	1	2	3	4	1	2	3	4
DJ	100.00%	33.10%	4.40%	8.80%	31.60%	40.30%	33.20%	10.30%
EURUSD	10.40%	89.80%	2.00%	57.00%	26.70%	12.10%	26.20%	18.60%
INDICEDOLAR	5.20%	6.00%	95.60%	7.90%	36.90%	45.40%	47.00%	22.60%
JPYUSD	21.90%	13.00%	64.30%	8.60%	35.30%	26.50%	31.70%	18.50%
LetradeltesoroseisMeses	11.10%	4.70%	0.20%	43.80%	37.20%	10.70%	64.70%	14.20%
LetradeltesorotresMeses	8.30%	31.20%	6.90%	12.00%	47.30%	30.30%	38.70%	7.20%
MXNUSD	55.70%	52.40%	71.00%	10.50%	52.30%	49.40%	32.40%	29.80%
OECDcpinflation	6.30%	42.20%	25.00%	27.80%	60.70%	65.10%	26.60%	24.30%
OIL	17.30%	25.30%	54.30%	2.80%	36.00%	27.70%	26.70%	7.10%
S&P	6.90%	32.40%	9.60%	52.20%	26.70%	40.40%	39.50%	14.40%
TasaLiberSeisMeses	12.70%	17.30%	73.40%	34.70%	30.10%	32.60%	43.90%	16.50%
TasaLiberTresMeses	17.30%	14.00%	33.70%	64.90%	7.80%	65.40%	54.20%	43.10%
UKCpi	26.40%	26.60%	57.90%	100.00%	65.60%	60.30%	30.20%	100.00%
UKCpinflation	42.20%	8.60%	72.90%	0.50%	31.10%	19.10%	61.60%	4.60%
UKGoldMillionFineTroyOunces	28.80%	19.50%	7.60%	17.30%	12.10%	3.70%	11.30%	2.70%
UKInterestRate	20.90%	1.40%	67.00%	46.30%	28.00%	15.00%	78.50%	22.90%
UKTotalReservesminusGold	84.20%	100.00%	22.90%	85.90%	26.50%	19.10%	100.00%	39.00%
UKUGdp	30.50%	36.00%	39.90%	73.20%	10.50%	19.60%	12.60%	22.00%
USCpi	18.20%	2.20%	52.30%	98.90%	8.10%	8.80%	45.70%	18.70%
USCpinflation	25.80%	26.20%	25.70%	30.70%	9.50%	100.00%	30.10%	6.30%
USEmployment	3.40%	30.90%	85.30%	21.00%	30.10%	17.30%	29.00%	10.20%
USGdp	25.10%	22.80%	36.30%	30.80%	32.20%	57.10%	32.30%	14.50%
USGoldMillionFineTroyOunces	21.40%	23.00%	12.50%	3.70%	33.10%	32.50%	2.80%	9.80%
USInterestRate	23.10%	11.10%	5.10%	21.50%	16.50%	22.80%	44.80%	8.90%

Determinantes económicas-financieras del precio del oro de 1987 a 2016: Una propuesta usando redes neuronales

USTotalReservesminusGold	20.40%	18.20%	100.00%	18.40%	100.00%	49.80%	44.70%	2.80%
USUnemployment	7.10%	41.90%	10.20%	50.30%	14.80%	71.60%	87.00%	6.20%
Training error	0.099	0.151	0.347	0.022	0.069	0.094	0.016	0.014
Testing error	1.039	1.029	0.292	2.582	1.071	0.906	0.22	2.141

Determinantes económicas-financieras del precio del oro de 1987 a 2016: Una propuesta usando redes neuronales

Tabla 12. Impacto de variables para el periodo Q1 1994 a Q4-2016

Q1-1994 - Q4-2016								
Variable	Topología							
	28-1-1				28-2-1			
	1	2	3	4	1	2	3	4
DJ	37.00%	100.00%	76.10%	9.70%	93.70%	29.50%	11.40%	74.90%
EURUSD	33.80%	4.80%	22.30%	12.10%	8.40%	8.40%	15.40%	42.20%
FTSE	24.50%	19.40%	1.40%	25.30%	71.90%	34.70%	13.30%	40.20%
INDICEDOLAR	42.70%	43.40%	39.90%	10.10%	36.40%	78.60%	11.70%	28.80%
JPYUSD	1.80%	80.50%	25.00%	13.60%	96.70%	57.40%	51.40%	36.10%
LetradeltesoroseisMeses	6.10%	10.80%	2.50%	11.80%	33.60%	10.50%	45.80%	33.70%
LetradeltesorotresMeses	37.30%	11.40%	23.80%	17.60%	32.50%	11.80%	28.20%	8.90%
MXNUSD	11.00%	4.00%	77.60%	5.40%	15.60%	95.60%	75.30%	100.00%
OECDcpiinflation	82.90%	28.20%	38.70%	8.30%	66.80%	20.40%	55.80%	27.50%
OIL	59.40%	4.00%	13.90%	10.60%	8.50%	40.90%	76.80%	12.40%
S&P	90.60%	8.30%	5.90%	37.90%	44.50%	39.60%	8.90%	48.90%
STLFSI	9.60%	4.20%	5.30%	27.20%	12.00%	48.80%	15.00%	36.00%
TasaLiberseisMeses	29.40%	5.50%	29.50%	3.40%	25.10%	18.20%	42.30%	85.00%
TasaLiberTresMeses	50.80%	7.70%	30.60%	18.50%	10.80%	23.80%	25.20%	29.20%
UKCpi	100.00%	0.50%	6.10%	54.50%	61.50%	15.00%	57.40%	6.10%
UKCpinflation	54.70%	34.10%	53.70%	9.70%	100.00%	22.40%	55.30%	27.50%
UKGoldMillionFineTroyOunces	76.60%	20.50%	5.70%	24.60%	48.90%	24.00%	38.30%	1.20%
UKInterestRate	9.50%	94.10%	1.50%	30.20%	33.50%	64.50%	100.00%	30.40%
UKTotalReservesminusGold	34.00%	73.60%	100.00%	100.00%	21.40%	48.90%	4.60%	28.40%
UKUGdp	96.90%	60.40%	14.40%	41.30%	65.90%	46.80%	76.00%	12.50%
USCpi	12.90%	33.40%	6.30%	80.60%	87.80%	60.70%	24.90%	22.10%
USCpinflation	59.40%	8.40%	16.80%	3.50%	76.50%	36.70%	11.80%	15.40%
USEmployment	8.90%	24.40%	15.50%	4.70%	38.80%	3.50%	15.70%	46.60%
USGdp	25.90%	27.10%	22.10%	32.50%	43.20%	24.70%	57.50%	7.10%

Determinantes económicas-financieras del precio del oro de 1987 a 2016: Una propuesta usando redes neuronales

USGoldMillionFineTr oyOunces	10.20%	0.80%	21.00%	5.00%	46.50%	23.00%	19.90%	9.20%
USInterestRate	16.90%	28.80%	2.90%	39.80%	52.80%	100.00%	18.20%	18.10%
USTotalReservesmi nusGold	77.50%	20.00%	58.10%	11.00%	20.50%	24.00%	89.30%	9.80%
USUnemployment	50.20%	15.20%	44.80%	6.70%	44.20%	62.20%	23.10%	71.40%
Training error	0.098	0.036	0.058	0.018	0.046	0.011	0.111	0.01
Testing error	1	0.723	0.384	1.118	0.764	0.802	0.281	0.955

Determinantes económicas-financieras del precio del oro de 1987 a 2016: Una propuesta usando redes neuronales

Tabla 13. Impacto de variables para el periodo Q2 1999 a Q4-2016

Q2-1999 - Q4-2016								
Variable	Topología							
	30-1-1				30-2-1			
	1	2	3	4	1	2	3	4
DJ	29.30%	34.20%	59.40%	6.70%	23.00%	25.00%	27.50%	46.20%
EURUSD	0.40%	60.60%	38.20%	13.20%	21.60%	6.40%	57.80%	25.20%
FTSE	63.40%	17.40%	47.60%	0.40%	31.80%	31.60%	40.10%	53.80%
INDICEDOLAR	5.60%	0.90%	55.30%	32.30%	34.50%	17.10%	31.00%	33.40%
JPYUSD	50.10%	12.50%	30.80%	17.50%	59.10%	89.00%	58.00%	95.30%
LetradeltesoroseisMeses	11.80%	8.70%	48.40%	30.00%	25.80%	12.60%	46.70%	16.50%
LetradeltesorotresMeses	14.50%	6.30%	18.40%	5.40%	26.10%	13.70%	31.10%	55.20%
MXNUSD	61.70%	10.30%	100.00%	12.20%	33.90%	8.90%	25.10%	81.90%
OECD Cp inflation	33.30%	50.30%	50.90%	72.00%	19.10%	19.30%	24.50%	24.80%
OIL	59.80%	22.40%	76.50%	57.20%	20.80%	8.50%	26.00%	23.20%
S&P	37.40%	80.50%	78.90%	3.60%	15.70%	31.40%	42.20%	47.40%
STLFSI	20.40%	26.30%	4.60%	37.90%	19.40%	20.40%	29.80%	26.70%
TasaLiberseisMeses	32.00%	18.90%	40.60%	22.40%	21.80%	31.10%	38.80%	57.70%
TasaLiberTresMeses	28.10%	76.80%	35.90%	6.70%	42.60%	11.90%	22.30%	11.20%
UKCpi	97.60%	93.20%	24.80%	100.00%	25.80%	9.40%	28.90%	62.70%
UKCpinflation	11.50%	12.70%	28.10%	21.30%	50.10%	17.60%	20.10%	5.60%
UKEmployment	30.70%	30.50%	19.40%	17.60%	39.40%	27.00%	73.10%	40.90%
UKGoldMillionFineteTroyOunces	88.40%	0.50%	61.00%	21.60%	100.00%	18.60%	14.40%	36.20%
UKInterestRate	52.10%	65.90%	72.30%	20.50%	15.20%	100.00%	45.90%	39.30%
UKTotalReservesminusGold	58.90%	61.60%	80.20%	4.40%	21.20%	30.50%	49.40%	14.50%
UKUGdp	53.10%	98.30%	53.40%	36.50%	32.30%	15.30%	60.50%	26.40%
UKUnemployment	77.00%	82.70%	72.60%	24.10%	42.30%	49.70%	36.90%	100.00%

Determinantes económicas-financieras del precio del oro de 1987 a 2016: Una propuesta usando redes neuronales

USCpi	8.30%	12.00%	57.90%	85.50%	41.80%	13.00%	92.50%	21.60%
USCpinflation	27.70%	38.60%	25.30%	19.80%	51.10%	43.70%	46.20%	36.50%
USEmployment	12.10%	100.00%	6.00%	3.60%	23.20%	53.30%	100.00%	54.70%
USGdp	11.10%	70.70%	66.40%	4.70%	40.00%	57.40%	28.30%	49.40%
USGoldMillionFinteTroyOunces	84.50%	79.10%	28.20%	4.40%	25.70%	14.20%	37.30%	6.20%
USInterestRate	100.00%	6.10%	53.20%	20.90%	24.90%	32.60%	52.60%	56.20%
USTotalReserves minusGold	24.30%	31.10%	13.00%	72.80%	5.60%	25.90%	53.80%	23.10%
USUnemployment	39.00%	29.80%	30.70%	39.60%	30.50%	38.80%	20.70%	98.30%
Training error	0.114	0.083	0.054	0.125	0.045	0.009	0.015	0.046
Testing error	4.826	0.419	0.411	0.796	1.965	0.07	0.333	0.495

Determinantes económicas-financieras del precio del oro de 1987 a 2016: Una propuesta usando redes neuronales

Tabla 14. Impacto de variables para el periodo Q1 2001 a Q4-2016

Q3-2001 - Q4-2016								
Variable	Topología							
	31-1-1				31-2-1			
	1	2	3	4	1	2	3	4
DJ	15.40%	28.10%	14.90%	19.90%	10.80%	12.80%	71.10%	37.20%
EURUSD	1.60%	9.00%	32.80%	98.50%	19.10%	30.90%	22.50%	50.10%
FTSE	25.60%	35.90%	46.00%	48.70%	70.40%	12.00%	60.10%	53.40%
INDICEDOLAR	4.30%	19.60%	25.80%	0.30%	11.20%	11.00%	100.00%	5.30%
JPYUSD	8.70%	33.90%	33.90%	4.60%	40.20%	50.50%	31.20%	74.80%
Letradeltesoroseis Meses	34.10%	29.70%	36.30%	11.40%	26.90%	37.90%	10.70%	11.90%
Letradeltesorotres Meses	7.30%	17.50%	58.70%	13.40%	8.70%	28.20%	21.60%	2.90%
Letradeltesorounmes	25.50%	62.50%	12.50%	6.20%	40.90%	100.00%	19.10%	15.00%
MXNUSD	19.00%	25.40%	100.00%	24.10%	22.00%	57.40%	36.00%	23.50%
OECDcpinflation	11.80%	85.50%	51.70%	24.20%	55.30%	16.80%	37.40%	82.50%
OIL	11.40%	15.80%	91.00%	17.70%	22.40%	83.70%	37.40%	24.20%
S&P	17.10%	19.90%	38.80%	59.80%	14.60%	48.50%	22.50%	3.40%
STLFSI	26.60%	2.90%	86.80%	20.40%	15.00%	56.70%	67.80%	38.10%
Tasaliberseis Meses	33.40%	32.50%	18.50%	12.60%	19.30%	28.20%	34.40%	23.50%
Tasalibertres Meses	0.20%	31.00%	47.20%	27.10%	37.00%	47.30%	25.80%	14.50%
UKCpi	79.10%	15.60%	78.70%	77.50%	14.30%	37.20%	13.30%	36.70%
UKCpinflation	1.40%	10.50%	60.50%	35.70%	31.40%	93.50%	39.10%	42.60%
UKEmployment	40.00%	15.90%	16.20%	25.90%	11.00%	44.40%	22.90%	50.80%
UKGoldMillionFine TroyOunces	29.20%	13.10%	65.50%	57.10%	100.00%	4.90%	13.80%	17.00%
UKInterestRate	56.70%	30.10%	79.40%	100.00%	17.10%	25.90%	42.40%	89.70%
UKTotalReserves minusGold	4.90%	32.40%	51.40%	1.80%	17.80%	18.60%	30.40%	42.20%
UKUGdp	2.20%	33.70%	68.10%	54.10%	17.70%	88.30%	35.20%	46.60%

Determinantes económicas-financieras del precio del oro de 1987 a 2016: Una propuesta usando redes neuronales

UKUnemployment	6.10%	49.20%	73.10%	9.60%	65.70%	45.10%	46.60%	72.40%
USCpi	43.60%	39.10%	70.90%	22.20%	15.70%	5.50%	47.70%	6.20%
USCpinflation	27.60%	65.50%	5.90%	51.40%	39.70%	19.90%	29.40%	76.10%
USEmployment	14.40%	24.80%	34.10%	39.30%	19.00%	13.10%	74.70%	30.90%
USGdp	46.20%	10.40%	6.20%	53.30%	27.20%	56.70%	31.30%	20.60%
USGoldMillionFine TroyOunces	29.40%	45.40%	41.60%	49.00%	38.50%	54.40%	18.90%	29.60%
USInterestRate	17.60%	100.00%	50.30%	97.10%	76.50%	45.80%	18.20%	100.00 %
USTotalReserves minusGold	100.00%	11.70%	4.70%	9.90%	15.50%	15.50%	49.30%	14.80%
USUnemployment	72.70%	29.60%	22.40%	8.50%	17.20%	21.80%	43.40%	25.70%
Training error	0.834	0.026	0.052	0.153	0.044	0.089	0.007	0.067
Testing error	1.989	0.361	0.705	0.7	0.983	0.224	0.249	0.929

Determinantes económicas-financieras del precio del oro de 1987 a 2016: Una propuesta usando redes neuronales

Tabla 15. Impacto de variables para el periodo Q1 2009 a Q4-2016

Q1-2009 - Q4-2016								
Variable	Topología							
	32-1-1				32-2-1			
	1	2	3	4	1	2	3	4
BDI	31.70%	4.70%	40.30%	32.40%	9.70%	22.30%	20.50%	16.30%
DJ	25.50%	30.20%	3.60%	37.80%	10.50%	15.10%	58.90%	49.80%
EURUSD	47.80%	73.10%	44.70%	25.70%	38.70%	19.30%	33.00%	59.70%
FTSE	14.80%	10.40%	4.40%	33.70%	17.70%	37.00%	53.30%	42.90%
INDICEDOLAR	42.50%	99.20%	43.20%	7.00%	37.90%	3.20%	30.60%	29.00%
JPYUSD	98.60%	6.80%	52.90%	39.90%	43.70%	100.00%	73.40%	100.00%
LetradeltesoroseisMeses	56.80%	20.60%	6.30%		22.10%	2.50%	14.00%	
LetradeltesorotresMeses	8.10%	20.10%	5.10%	14.20%	20.10%	21.50%	65.30%	20.00%
LetradeltesorounMes	42.60%	41.30%	13.50%	30.90%	28.00%	9.70%	12.90%	19.30%
MXNUSD	49.90%	69.20%	100.00%	0.50%	24.10%	26.50%	48.50%	19.90%
OECDcpinflation	59.70%	30.40%	69.80%	100.00%	31.10%	51.90%	90.70%	55.10%
OIL	44.30%	6.20%	63.10%	23.00%	15.60%	5.10%	21.20%	50.10%
S&P	57.10%	80.00%	25.00%	15.80%	6.40%	18.70%	20.70%	46.90%
STLFSI	3.50%	20.30%	0.90%	21.70%	30.80%	5.80%	100.00%	45.60%
TasaLiberSeisMeses	57.90%	1.00%	46.00%	39.70%	5.50%	31.10%	49.20%	31.80%
TasaLiberTresMeses	36.30%	8.60%	61.30%	27.70%	44.40%	30.30%	18.60%	33.20%
UKCpi	80.40%	60.60%	16.70%	55.30%	18.10%	21.50%	37.50%	22.00%
UKCpinflation	39.80%	6.60%	53.60%	27.30%	41.30%	20.00%	12.00%	16.60%
UKEmployment	17.80%	55.50%	59.90%	29.90%	47.50%	35.50%	17.30%	26.00%
UKGoldMillionFineTroyOunces	7.40%	13.40%	31.20%		13.50%	22.10%	6.80%	
UKInterestRate	3.80%	88.70%	43.90%	38.90%	14.00%	35.40%	33.80%	49.50%
UKTotalReservesminusGold	74.50%	100.00%	13.80%	14.50%	24.30%	33.80%	24.60%	36.00%
UKUGdp	36.40%	78.40%	52.60%	20.70%	11.40%	16.30%	26.80%	46.10%

Determinantes económicas-financieras del precio del oro de 1987 a 2016: Una propuesta usando redes neuronales

UKUnemployment	13.00%	62.30%	2.40%	49.20%	24.00%	5.50%	14.20%	49.10%
USCpi	47.10%	45.50%	43.00%	7.10%	3.00%	26.30%	44.10%	68.10%
USCpinflation	100.00%	86.10%	31.20%	51.30%	27.20%	12.40%	42.70%	40.70%
USEmployment	58.60%	23.50%	7.10%	30.30%	17.20%	14.80%	41.50%	30.20%
USGdp	37.80%	50.70%	11.90%	43.90%	19.20%	21.60%	42.70%	26.30%
USGoldMillionFineTro yOunces	22.00%	30.80%	9.30%	3.90%	16.70%	7.70%	27.80%	18.20%
USInterestRate	98.80%	62.10%	47.80%	46.40%	100.00%	46.70%	68.30%	39.10%
USTotalReservesminu sGold	4.60%	10.90%	6.90%	32.60%	29.10%	11.80%	75.90%	25.10%
USUnemployment	26.20%	90.70%	1.90%	24.10%	27.50%	27.30%	12.20%	48.00%
Training error	0.054	0.063	0.389	0.112	0.089	0.027	0.132	0.024
Testing error	1.189	1.732	0.612	0.754	0.833	0.204	0.237	0.297

Determinantes económicas-financieras del precio del oro de 1987 a 2016: Una propuesta usando redes neuronales

Tabla 16. Topologías de red neuronal artificial óptimas

Variable	Q1-1987 - Q4-2016	Q1-1990 - Q4-2016	Q1-1994 - Q4-2016		Q2-1999 - Q4-2016				Q3-2001 - Q4-2016			Q1-2009 - Q4-2016	
	Topología	Topología	Topología		Topología				Topología			Topología	
	18-2-1	26-2-1	28-1-1.		30-1-1	30-2-1			31-1-1		31-2-1	32-2-1	
	3	3	2	3	3	2	3	4	2	3	3	2	4
BDI												22.30%	16.30%
DJ	13.10%	33.20%	100.00%	76.10%	59.40%	25.00%	27.50%	46.20%	28.10%	14.90%	71.10%	15.10%	49.80%
EURUSD	4.60%	26.20%	4.80%	22.30%	38.20%	6.40%	57.80%	25.20%	9.00%	32.80%	22.50%	19.30%	59.70%
FTSE			19.40%	1.40%	47.60%	31.60%	40.10%	53.80%	35.90%	46.00%	60.10%	37.00%	42.90%
INDICEDOLAR	22.90%	47.00%	43.40%	39.90%	55.30%	17.10%	31.00%	33.40%	19.60%	25.80%	100.00%	3.20%	29.00%
JPYUSD	45.30%	31.70%	80.50%	25.00%	30.80%	89.00%	58.00%	95.30%	33.90%	33.90%	31.20%	100.00%	100.00%
LetradeltesoroseisMeses		64.70%	10.80%	2.50%	48.40%	12.60%	46.70%	16.50%	29.70%	36.30%	10.70%	2.50%	
LetradeltesorotresMeses		38.70%	11.40%	23.80%	18.40%	13.70%	31.10%	55.20%	17.50%	58.70%	21.60%	21.50%	20.00%
Letradeltesorounmes									62.50%	12.50%	19.10%	9.70%	19.30%
MXNUSD	38.30%	32.40%	4.00%	77.60%	100.00%	8.90%	25.10%	81.90%	25.40%	100.00%	36.00%	26.50%	19.90%
OECDpinflation	58.30%	26.60%	28.20%	38.70%	50.90%	19.30%	24.50%	24.80%	85.50%	51.70%	37.40%	51.90%	55.10%
OIL	11.70%	26.70%	4.00%	13.90%	76.50%	8.50%	26.00%	23.20%	15.80%	91.00%	37.40%	5.10%	50.10%

Determinantes económicas-financieras del precio del oro de 1987 a 2016: Una propuesta usando redes neuronales

S&P	89.80%	39.50%	8.30%	5.90%	78.90%	31.40%	42.20%	47.40%	19.90%	38.80%	22.50%	18.70%	46.90%
STLFSI			4.20%	5.30%	4.60%	20.40%	29.80%	26.70%	2.90%	86.80%	67.80%	5.80%	45.60%
TasaLiberSeisMeses		43.90%	5.50%	29.50%	40.60%	31.10%	38.80%	57.70%	32.50%	18.50%	34.40%	31.10%	31.80%
TasaLiberTresMeses		54.20%	7.70%	30.60%	35.90%	11.90%	22.30%	11.20%	31.00%	47.20%	25.80%	30.30%	33.20%
UKCpi	14.00%	30.20%	0.50%	6.10%	24.80%	9.40%	28.90%	62.70%	15.60%	78.70%	13.30%	21.50%	22.00%
UKCpinflation	9.30%	61.60%	34.10%	53.70%	28.10%	17.60%	20.10%	5.60%	10.50%	60.50%	39.10%	20.00%	16.60%
UKEmployment					19.40%	27.00%	73.10%	40.90%	15.90%	16.20%	22.90%	35.50%	26.00%
UKGoldMillionFineTroyOunces		11.30%	20.50%	5.70%	61.00%	18.60%	14.40%	36.20%	13.10%	65.50%	13.80%	22.10%	
UKInterestRate	3.90%	78.50%	94.10%	1.50%	72.30%	100.00%	45.90%	39.30%	30.10%	79.40%	42.40%	35.40%	49.50%
UKTotalReservesminusGold		100.00%	73.60%	100.00%	80.20%	30.50%	49.40%	14.50%	32.40%	51.40%	30.40%	33.80%	36.00%
UKUGdp	56.10%	12.60%	60.40%	14.40%	53.40%	15.30%	60.50%	26.40%	33.70%	68.10%	35.20%	16.30%	46.10%
UKUnemployment					72.60%	49.70%	36.90%	100.00%	49.20%	73.10%	46.60%	5.50%	49.10%
USCpi	28.60%	45.70%	33.40%	6.30%	57.90%	13.00%	92.50%	21.60%	39.10%	70.90%	47.70%	26.30%	68.10%
USCpinflation	15.60%	30.10%	8.40%	16.80%	25.30%	43.70%	46.20%	36.50%	65.50%	5.90%	29.40%	12.40%	40.70%
USEmployment	31.10%	29.00%	24.40%	15.50%	6.00%	53.30%	100.00%	54.70%	24.80%	34.10%	74.70%	14.80%	30.20%
USGdp	9.70%	32.30%	27.10%	22.10%	66.40%	57.40%	28.30%	49.40%	10.40%	6.20%	31.30%	21.60%	26.30%
USGoldMillionFineTroyOunces		2.80%	0.80%	21.00%	28.20%	14.20%	37.30%	6.20%	45.40%	41.60%	18.90%	7.70%	18.20%
USInterestRate	100.00%	44.80%	28.80%	2.90%	53.20%	32.60%	52.60%	56.20%	100.00%	50.30%	18.20%	46.70%	39.10%

Determinantes económicas-financieras del precio del oro de 1987 a 2016: Una propuesta usando redes neuronales

USTotalReservesminusGold		44.70%	20.00%	58.10%	13.00%	25.90%	53.80%	23.10%	11.70%	4.70%	49.30%	11.80%	25.10%
USUnemployment	40.30%	87.00%	15.20%	44.80%	30.70%	38.80%	20.70%	98.30%	29.60%	22.40%	43.40%	27.30%	48.00%
Training error	0.017	0.016	0.036	0.058	0.054	0.009	0.015	0.046	0.026	0.052	0.007	0.027	0.024
Testing error	0.24	0.22	0.723	0.384	0.411	0.07	0.333	0.495	0.361	0.705	0.249	0.204	0.297

Determinantes económicas-financieras del precio del oro de 1987 a 2016: Una propuesta usando redes neuronales

Tabla 17. Promedios de los índices y oro

Años	Mexico IPC Index (ME) - Index Value	NASDAQ Composite Index (^COMP) - Index Value	Nikkei 225 Index (^N225) - Index Value	S&P 500 (^SPX) - Index Value	FTSE 100 Index (^FTSE) - Index Value	Dow Jones Industrial Average (^DJI) - Index Value	EURO STOXX Index (EUR) (^SXXE) - Index Value	S&P/ASX All Australian 200 (^XAT) - Index Value	Gold (COMEX:^GC) - Day Close Price
PROMEDIO 1987-2016	23.18%	8.83%	0.29%	7.02%	Todavía sin operaciones iniciadas	7.34%	Todavía sin operaciones iniciadas	Todavía sin operaciones iniciadas	3.18%
PROMEDIO 1992-2016	13.85%	8.65%	-0.55%	6.45%	Todavía sin operaciones iniciadas	6.97%	Todavía sin operaciones iniciadas	Todavía sin operaciones iniciadas	4.21%
PROMEDIO 1997-2016	13.00%	6.77%	0.20%	5.22%	2.30%	5.25%	Todavía sin operaciones iniciadas	Todavía sin operaciones iniciadas	5.35%
PROMEDIO 2001-2016	12.71%	4.54%	2.17%	2.84%	0.27%	3.31%	-1.57%	2.47%	8.48%
PROMEDIO 2007-2016	5.44%	7.33%	1.25%	3.98%	0.72%	4.11%	-2.04%	-1.41%	4.98%
PROMEDIO 2012-2016	4.86%	14.20%	16.93%	11.22%	4.71%	9.33%	8.52%	0.00%	-7.43%

Determinantes económicas-financieras del precio del oro de 1987 a 2016: Una propuesta usando redes neuronales

Tabla 18. Desviaciones estándar de los índices y oro

Años	Mexico IPC Index (ME) - Index Value	NASDAQ Composite Index (^COMP) - Index Value	Nikkei 225 Index (^N225) - Index Value	S&P 500 (^SPX) - Index Value	FTSE 100 Index (^FTSE) - Index Value	Dow Jones Industrial Average (^DJI) - Index Value	EURO STOXX Index (EUR) (^SXXE) - Index Value	S&P/ASX All Australian 200 (^XAT) - Index Value	Gold (COMEX:^GC) - Day Close Price
DESVIACIÓN ESTÁNDAR 1987-2016	30.24%	25.66%	24.72%	16.52%	Todavía sin operaciones iniciadas	14.10%	Todavía sin operaciones iniciadas	Todavía sin operaciones iniciadas	15.83%
DESVIACIÓN ESTÁNDAR 1992-2016	22.55%	26.26%	23.46%	17.06%	Todavía sin operaciones iniciadas	14.53%	Todavía sin operaciones iniciadas	Todavía sin operaciones iniciadas	15.57%
DESVIACIÓN ESTÁNDAR 1997-2016	24.24%	28.55%	25.25%	18.12%	15.75%	14.95%	Todavía sin operaciones iniciadas	Todavía sin operaciones iniciadas	16.12%
DESVIACIÓN ESTÁNDAR 2001-2016	18.10%	23.40%	24.74%	18.16%	15.75%	15.20%	23.03%	18.05%	15.77%
DESVIACIÓN ESTÁNDAR 2007-2016	15.23%	22.87%	26.62%	19.52%	15.49%	16.66%	23.38%	20.30%	18.53%
DESVIACIÓN ESTÁNDAR 2012-2016	7.29%	9.06%	16.93%	8.54%	8.79%	8.88%	5.35%	0.00%	16.47%