

**N° 19-2019**

Octubre

INFORME ESPECIAL

# Pronóstico de la Inversión Extranjera Directa en Colombia

# Pronóstico de la Inversión Extranjera Directa en Colombia mediante sus determinantes macroeconómicos aplicando Machine Learning

Diego Fernando Montañez Herrera<sup>1</sup>

Grupo de Análisis de Coyuntura Económica. Universidad EAFIT

## Abstract

La Inversión Extranjera ha ganado importancia en años recientes para la economía colombiana, transformándose en la principal variable macroeconómica que es capaz de financiar el recurrente déficit de cuenta corriente, teniendo en cuenta que la economía presenta una posición persistente de deudora neta al resto del mundo, lo que acarrea serios problemas financieros y económicos en los años venideros. Por consiguiente, se elabora un modelo inspirado en la teoría macroeconómica aplicando *Machine Learning*, teniendo como variables explicativas el crecimiento económico (PIB), las exportaciones no tradicionales, el precio del petróleo Brent y el nivel de sostenibilidad factorial todas se usan de forma trimestral desde el primer trimestre del año 2000 hasta el segundo trimestre del 2019

Se proponen 3 modelos de *Machine* enfocado en redes neuronales. El primero consiste en *Multi-layer Perception* (MLP), es decir, un aprendizaje supervisado autorregresivo, el segundo tiene que ver con un *MLPRegressor* que implementa un perceptrón multicapa (MLP) que se entrena usando la propagación hacia atrás sin función de activación en la capa de salida y, finalmente, se estima el modelo más consistente y robusto en los pronósticos trimestrales que tiene que ver con *MLPRegressor* multivariado, siendo una gama de los modelos supervisados, donde se tiene en cuenta para la inclusión de variables los principales determinantes de la literatura y los que mayores correlaciones dinámicas presentan. En los tres modelos encontramos una proyección trimestral de la IED que mejora significativamente por la inclusión de la teoría macroeconómica. El *Machine Learning* ha evolucionado hacia modelos predictivos que bien

<sup>1</sup> Miembro del grupo de Coyuntura Económica de la Universidad EAFIT dirección: [dfmontaneh@eafit.edu.co](mailto:dfmontaneh@eafit.edu.co)

compiten con la econometría tradicional: ARIMA y VAR, por consiguiente, incorporar la teoría macroeconómica es un elemento esencial para complementar, mejorar y darle sentido a las predicciones, como se muestran en los pronósticos de la IED en el documento.

## 1. Introducción

La economía colombiana muestra señales de comenzar una fase de recuperación gradual, dejando atrás el pobre crecimiento presentando en los últimos años 2015-2018, cuando los precios internacionales del petróleo registraron una volatilidad considerable, no obstante, continua con un nivel de endeudamiento externo creciente y con una creciente dependencia de la Inversión Extranjera Directa (IED). Colombia se ha mostrado en los últimos años como una de las economías más sólidas de América Latina, muestra de ello los últimos datos de proyección de crecimiento económico, que según el Fondo Monetario Internacional se espera un crecimiento para el año 2019 del 3,4% y según analistas del mercado de la encuesta de expectativas realizadas por el Banco de la República el promedio se ubica en 3,1% para el año 2019 y una mejora al 3,4% para el año 2020, cifras que la posicionan en ambos años como la economía más sobresaliente de Suramérica. No obstante, desde una perspectiva más macro-financiera, el país presenta unos niveles de endeudamiento externo muy altos y que persisten en el tiempo, por consiguiente, se encuentra en la mira de las calificadoras de riesgo por el creciente déficit de cuenta corriente que se espera para este año sea del 4.4% con relación al PIB, la protagonista que ha contribuido al financiamiento de dicho déficit es la Inversión de Extranjera Directa, además, la preocupante alza del nivel de deuda del gobierno que compromete el déficit fiscal que se espera sea un 2,7% con respecto al PIB, y finalmente, una posición de inversión internacional que se encuentra en terreno negativo desde hace aproximadamente dos décadas y que se retroalimenta dicho déficit a medida que transcurre el tiempo, variable que muestra los saldos de activos y pasivos financieros de la economía, lo que nos indica que la economía colombiana se endeuda a ritmos agigantados con el resto del mundo lo que en términos macro-financieros acarrearía una disminución del consumo, ahorro, producción e inversión futura.

## 2. Determinantes de la IED en Colombia

La IED es relevante para cualquier economía, como bien lo describe el trabajo de Garavito, Teresa & Ramírez (pp2, 2012): “la IED es fundamental para una economía como fuente de financiación externa, y por los efectos que ésta puede tener sobre la balanza de pagos, el crecimiento económico de largo plazo y la productividad de un país. De otra parte, la IED contribuye a aumentar la transferencia de tecnología, la formación de capital, la competitividad y la calificación de la mano de obra y a reducir los costos de las empresas”. Ahora bien, la IED, es una variable que depende de múltiples factores macroeconómicos, factores de política monetaria y fiscal, de los mercados financieros internacionales y por ser en sí misma un flujo depende del nivel de retornos esperados, todos ellos cuentan con una dinámica muy volátil y con un alto nivel de incertidumbre que las hace de naturaleza cambiante. Por consiguiente, este documento intentará realizar un acercamiento mediante un modelo de Machine Learning por la naturaleza no estacionaria de las series, y, además, porque las variables explicativas también cuentan con un nivel de incertidumbre en cada periodo, de ahí la importancia de los modelos de redes neuronales que no requieren del supuesto de estacionariedad como los famosos modelos VAR y ARIMA de series de tiempo que se usan tradicionalmente en la literatura macroeconómica. Otro aspecto vital es que las redes neuronales permiten pronosticar usando multiperiodo y multivariantes, y la existencia del aprendizaje supervisado y no supervisado.

Con base en la teoría macroeconómica y estudios especialmente del Banco de la República y Anif que se han realizado para identificar las principales variables que determinan la IED en Colombia se concluye que “existe una gran diversidad de metodologías y de bases de datos, que incluyen diferentes muestras de países y periodos de tiempo, que hace difícil concluir cuales son los factores más importantes que afectan la decisión de las firmas de invertir en el exterior. Sin embargo, se encuentra que, en general, el tamaño del mercado, el crecimiento económico de los países, la tasa de cambio, la estructura impositiva, los acuerdos comerciales, los diferenciales de costos y la estabilidad macroeconómica, son los factores más relevantes desde una perspectiva macroeconómica”, adicionalmente, se encuentra en el estudio de Gil, López & Espinosa (2013) titulado “*Determinants of Foreign Direct Investment in South America*” donde buscan determinar las variables que atraen los flujos de inversión extranjera directa (IED) en

América del Sur en el período 1992–2011, que se resumen en el PIB, población, exportaciones, importaciones, grado de apertura, riesgo político y solvencia económica.

Por consiguiente, en nuestros modelos a estimar de *Machine Learning* teniendo en cuenta la revisión de la literatura, la teoría macroeconómica y la disponibilidad de datos de las variables podemos concluir que las principales variables explicativas de la evolución de Inversión Extranjera Directa y que se usarán, tienen que ver con el crecimiento económico, puesto que brinda el panorama principal de cómo se encuentra la economía del destino de inversión; el nivel de cuenta corriente, siendo este el balance de exportaciones versus importaciones de bienes y servicios y de transferencias que se derivan de la cuenta financieras, también el precio del petróleo, en nuestro caso se elegirá el de tipo Brent por encima del WTI, dado que el crudo colombiano que es vendido al exterior no es de los más altas estándares siendo muy pesado un factor desfavorable como se muestra detalladamente en otro informe especial, asimismo la correlación con el Brent muestra que es el que más influye en las exportaciones de crudo, además, la importancia radica en que las exportaciones del país están jalonadas por este producto en más del 50% (Adarve, 2019) y como se evidencio en la drástica caída de los precios del petróleo en el año 2014, afecta fuertemente las finanzas públicas y el déficit comercial, generando déficit gemelos considerablemente altos; finalmente, se incluirá la renta factorial siendo los réditos por inversiones de colombianos en el exterior versus extranjeros en Colombia.

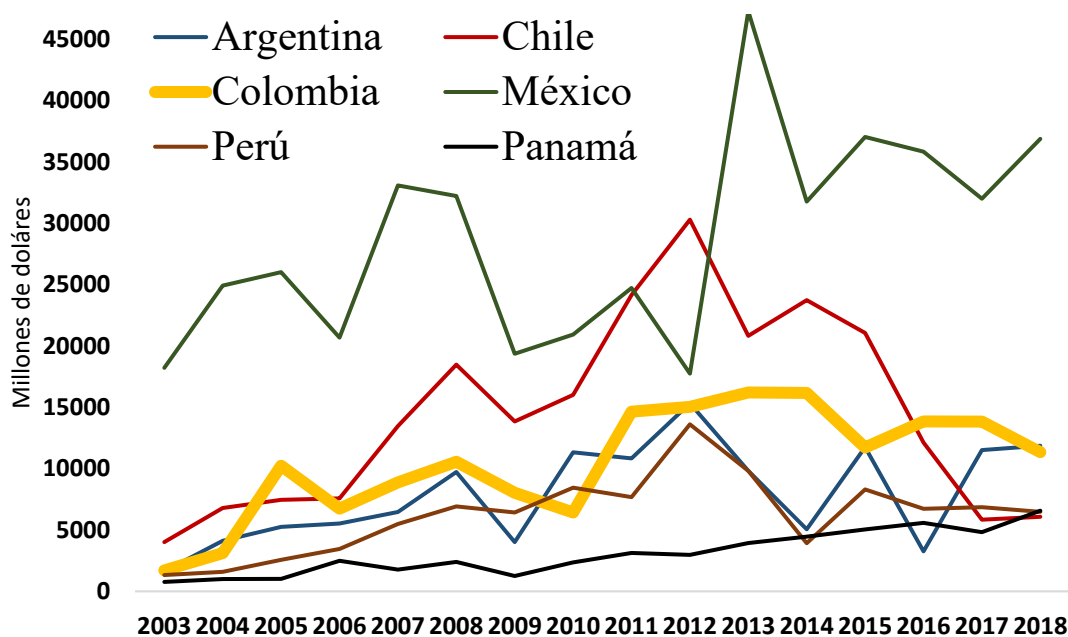
Dado la revisión de la literatura que soporta la inclusión de las variables seleccionadas en el modelo de pronósticos, se procederá a estimar los 3 modelos de pronósticos de la IED con *Machine Learning*, aunque antes de ello se hará un análisis de rentabilidad de la IED comparativamente con un conjunto de economías similares de la región.

### **3. Rentabilidad media de la IED en Colombia**

La renta factorial en las últimas décadas ha presentado un persistente déficit, explicado fundamentalmente por los altos flujos de IED en Colombia, a pesar de la inestabilidad de los precios internacionales, se han mantenido en sobresalientes niveles en años recientes. Los ingresos por IED de los nacionales en el exterior muestran una tendencia creciente, sostenida y se ha diversificado en más sectores que los egresos, donde estos últimos se han concentrado

mayoritariamente en el sector petrolero, minas y canteras. Es un fenómeno interesante, puesto que, comprenden la mayor parte de los ingresos factoriales, por tanto, el ascenso de la remuneración de las inversiones de colombianos en el exterior, muestran un cambio de paradigma en la mentalidad en el sector empresarial, de los principales grupos e inversionistas nacionales, que cada vez más, se atreven con mayor frecuencia y montos estar inmersos en el mercado internacional (Montañez & García, 2019). En lo que concierne a los ingresos de la IED en Colombia han tenido un patrón favorable en los últimos 15 años, como se muestra en el gráfico 1, comparando con las principales economías de la región, lo que evidencia la creciente importancia y la transformación a destino atractivo para los inversionistas extranjeros.

**Gráfico 1: Ingresos de la IED 2003-2018 en Colombia y conjunto de países similares de la región**

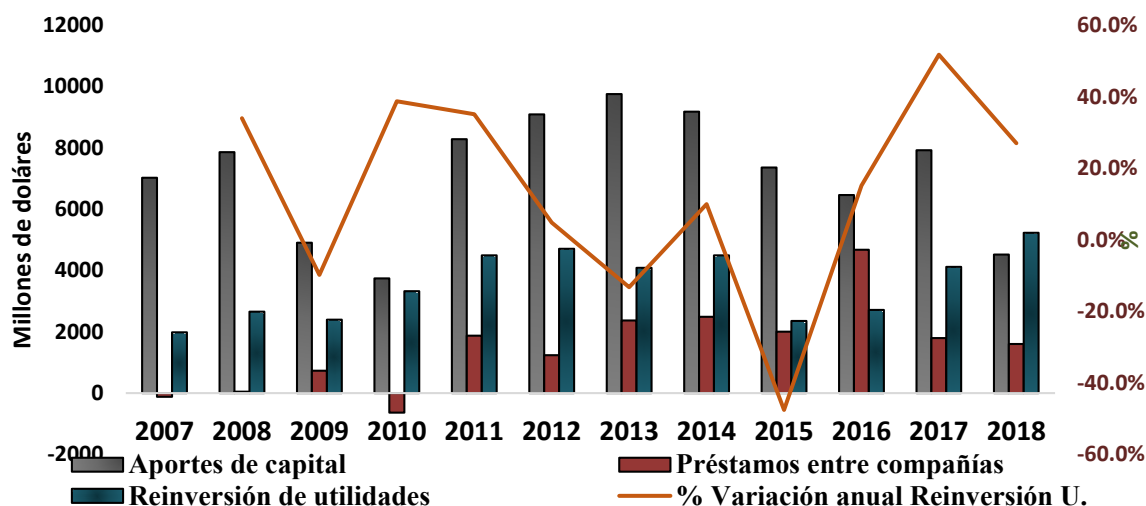


**Fuente:** Datos de CEPAL & Banco de la República. Elaboración del autor

Se puede ver como Chile a partir del año 2012 ha entrado en un periodo de descenso de ingresos por parte de la IED, en contraste con los importantes niveles de crecimiento de países como México y Panamá. La economía colombiana, ha experimentado una subida de los ingresos de

la IED, en buena parte debido a la estabilidad de las principales variables macroeconómicas y perspectivas de crecimiento económico, en el periodo 2010-2014 tiene mucho que ver el boom minero-energético, que, aunque se vio interrumpido por la caída de los precios internacionales del crudo, se han mantenido los ingresos hasta los años más recientes, no obstante, es importante, mirar un poco más a fondo, es decir, los componentes de los ingresos de la IED, que son los aportes de capital, los préstamos entre compañías y la reinversión de utilidades, que se presentan su evolución en el gráfico 2, acompañadas de la variación anual de la reinversión de utilidades. En lo que se refiere a los ingresos como préstamos entre compañías son difíciles de interpretar con una lógica de IED para el desarrollo, ya que son operaciones dentro de las empresas en las que no es posible inferir la intencionalidad y consecuente impacto de la inversión, por ello, su recurrente inestabilidad.

**Gráfico 2: Ingresos de la IED por componentes en Colombia 2007-2018**



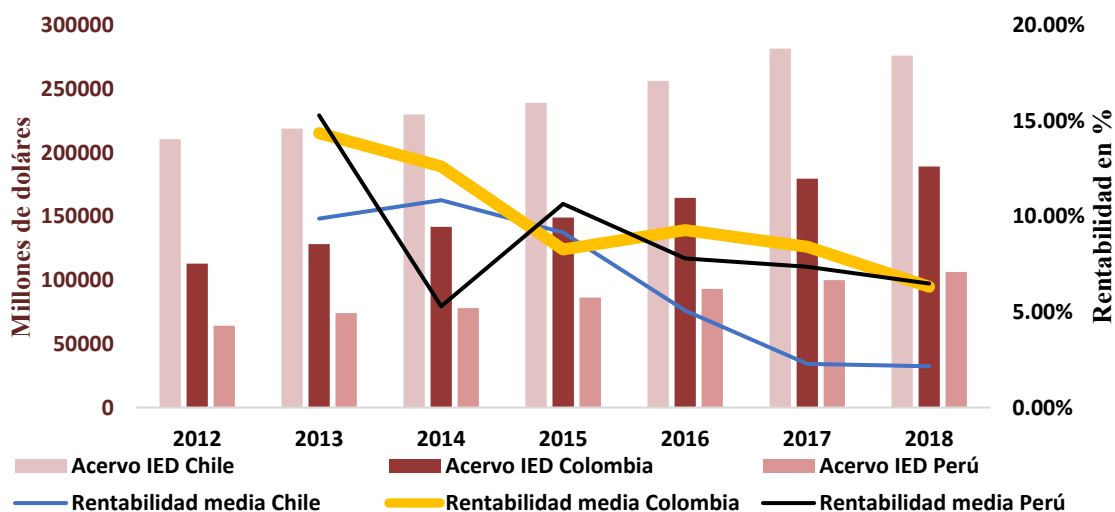
**Fuente:** Datos de CEPAL & Banco de la República. Cálculos y elaboración propia.

Se evidencia en el gráfico 2 cómo la reinversión de utilidades se ha acrecentado a partir del año 2015, incluso a tasas de crecimiento bastantes favorables (51% y 27% en los años 2017 y 2018 respectivamente), los aportes de capital se han sostenido en la última década, fenómenos que desencadena una confianza inversionista que va en consonancia con una mayor diversificación

de los portafolios, aunque todavía muy lenta, pero que sin duda alguna se muestra sólida y cada vez con menos nivel de deterioro ante la volatilidad en los precios en los mercados mundiales.

Ahora bien, a lo que concierne a la inversión extranjera directa, para entender su devenir es fundamental ver la evolución de la rentabilidad (Martínez, Cristiano, Gaitán, & Sandoval, 2007). Una de las medidas más utilizadas en América Latina y el Caribe, consiste en un indicador de la Comisión para América Latina y el Caribe (CEPAL) que lo denominan la rentabilidad media. Este último, se calcula como el cociente entre la renta de la inversión extranjera directa (débitos) y el acervo de inversión extranjera directa (Ramírez Molinares, 2010). Por consiguiente, usando los datos de la Balanza de pagos publicados por el Banco de la República, y los datos de acervo de IED que contiene la CEPAL teniendo como stock inicial el año 2005 para los países de América Latina y el Caribe que se reportan en el informe de inversión extranjera que publican de forma anual, se calcula la rentabilidad media para Colombia de la IED en los años más recientes y se compara con la rentabilidad para algunas economías similares de América Latina (Chile y Perú), como se muestra en el **gráfico 3**, siendo un indicador relevante para determinar el ritmo de inversión registrado, además, de mostrar señales del posible rumbo de la IED para los años venideros, por consiguiente, variable macroeconómica clave para los pronósticos.

**Gráfico 3: Acervo y rentabilidad media de la Inversión Extranjera Directa (IED) 2013-2017 en Colombia, Chile y Perú.**





**Fuente:** Datos de CEPAL & Banco de la República. Cálculos y elaboración propia.

Es evidente, como se muestra en el desempeño en el gráfico 3 que para las tres economías en análisis, tanto para Chile, como para Colombia y Perú, la tendencia ha sido a la baja en la rentabilidad media de la IED, aún se está lejos de los niveles que se alcanzaron en el auge de los precios internacionales, teniendo en cuenta las tres economías en cuestión tiene un patrón similar que se podría resumir Chile con el cobre, Perú con el oro y Colombia con el petróleo y sus derivados, adicionalmente, teniendo en cuenta, que la economía colombiana fue muy atractiva y se vio reflejado en una IED bastante fuerte en dichos sectores (Carbón, petróleo y sus derivados) que dependen de los vaivenes del mercado internacional y lo que se vende al resto del mundo (exportaciones) tiene que ver netamente con el sector minero-energético, aproximadamente representa el 60 por ciento de la canasta exportadora. Es una señal preocupante, puesto que, a pesar de que los precios internacionales se han ido recuperando en el año 2017 y 2018 fundamentalmente, aún se muestra señales de no haberse recuperado satisfactoriamente la rentabilidad media de la IED y sólo se alcanza a mantener un nivel que ronda un 6%. Aunque también se puede referir, como se ha mostrado anteriormente, parece vislumbrarse un panorama positivo en la diversificación de la IED en los últimos años en Colombia cuestión que podría generar una irrupción de política económica para transformar la canasta exportable de la economía colombiana por un mayor el portafolio de inversión.

#### **4. Machine Learning**

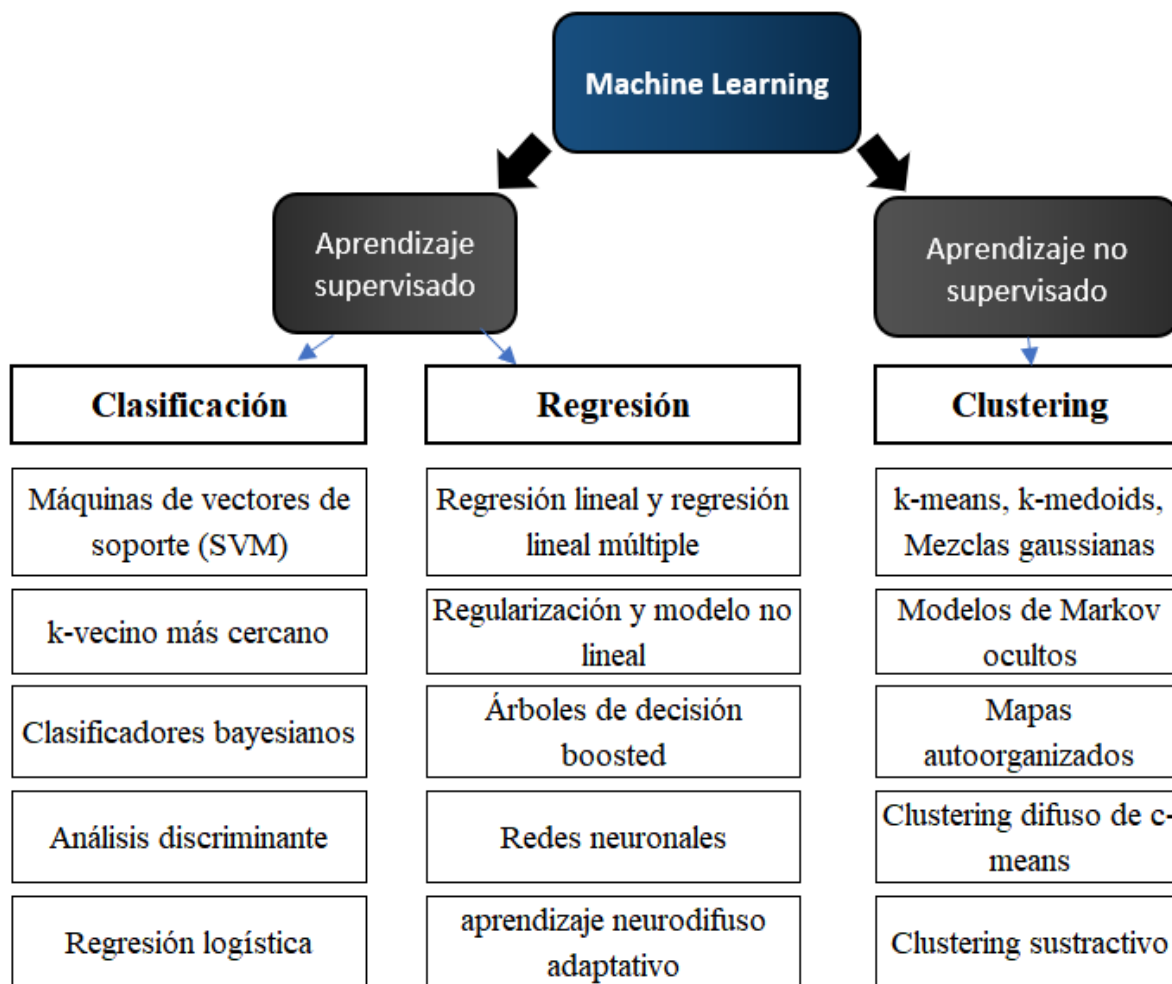
La Inteligencia Artificial ha evolucionado hacia los temas de *Machine Learning* y *Deep Learning* durante la última década, siendo sin duda alguna uno las temáticas más populares hoy en día. Sus avances se han extendido hacia modelos predictivos que bien compiten con la econometría tradicional de series de tiempo como los AR, MA, ARMA, Arima y VAR.

El *Machine Learning* lo podemos definir siguiendo a Lee de Silicon Valley como "un método analítico que automatiza la especificación de los modelos de predicción; son modelos que "aprenden". Este esquema difiere de la anterior "programación condicional" (tipo "if-then). Su alta capacidad informativa le permite, por ejemplo, conducir autos (TESLA, Google), imaginar el gusto del consumidor (Amazon, Netflix) o agilizar procesos financieros (Fintech)" (La república, 2019).

En términos simples, estos modelos copian la conducta del cerebro humano con unas variables entrada que suministran información a múltiples capas como lo hacen unas "redes neuronales" sólo que hace por medio de unos pesos que se asignen en la función de activación que es más conocida como neurona artificial que finalmente da como output los valores de salida.

A continuación, en el gráfico 4 se presenta una visión general del *Machine Learning*, donde se puede notar una gama amplia de posibilidades, no obstante, las redes neuronales surgen en economía en dos frentes: la predicción (pronósticos) y la clasificación. Siendo el de perceptrón multicapa de los más usados.

**Gráfico 4: Técnicas de Machine Learning**

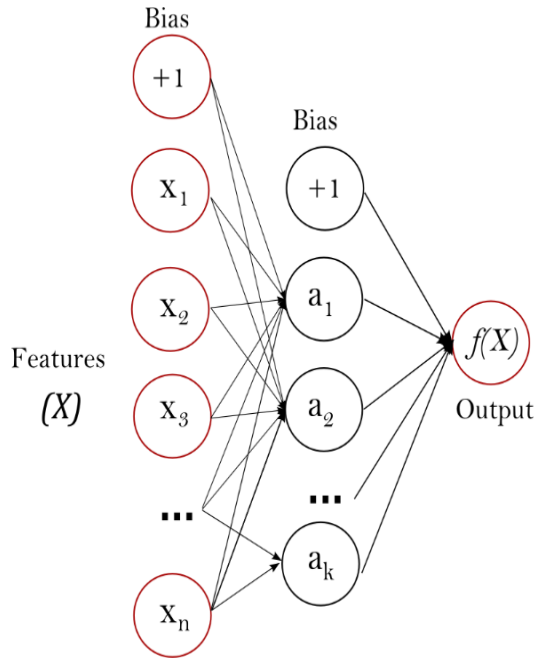


**Fuente:** Elaboración propia con información de Mathworks & Scikit-learn.

Haciendo un esquema sintetizado de la literatura se encuentran las siguientes ventajas importantes de su uso en economía: La primera ventaja de la metodología de las redes tiene que ver con que es superior a las clásicas Arima cuando estas series no tenían un fuerte componente estacionario. Una segunda ventaja consiste en modelos multiperiodo y multivariable sin preocuparse de multicolinealidad, sin especificar la relación funcional previamente, como si se debe hacer en modelos Arima y los auto regresivos. Una tercera ventaja, que es de la más relevantes, es que se pueden introducir indicadores (sean noticias o actualizaciones de datos en tiempo real) y variables macroeconómicas, que son de gran uso teniendo en cuenta los rezagos de información de publicación de los datos que se presenta en Colombia.

Los modelos de redes neuronales pueden ser supervisados o no supervisados como se muestra en el gráfico 4, el aprendizaje no supervisado se usa cuando se pretende explorar datos y desea entrenar un modelo para localizar una buena representación interna como la división de datos en clusters (Mathworks,2019), mientras que los supervisados, permite la interacción o agregación de variables ya sea en el tiempo pasado o teniendo información futura, se elige si se necesita entrenar un modelo para realizar una predicción. Antes de presentar los resultados de estimación, es fundamental entender el concepto de perceptrón multicapa, que se refiere a una red neuronal artificial formada por múltiples capas que permite solucionar problemas que no son linealmente separables (ver gráfico 6), es decir, que van más allá del modelo de perceptrón simple, que consiste en la neurona artificial de inferencia de forma de discriminador lineal que se muestra en el gráfico 5, que este tipo será usado en el modelo 1.

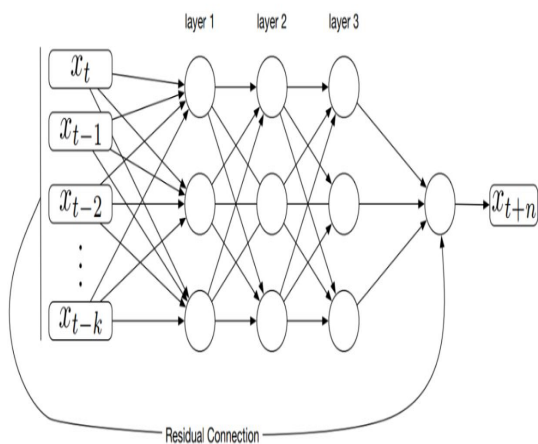
Gráfico 5: Una capa oculta MLP



Fuente: Tomado de scikit learn v0.21.3

Mientras que el modelo 2 y 3 a estimar en nuestro estudio serán multicapa, es más, el modelo 3 incluirá valores pasado y futuros que mejoran los pronósticos de la inversión extranjera directa en Colombia.

Gráfico 6: Perceptrón multicapa



**Fuente:** Tomado de Mathworks (2019).

## 5. Modelación

En nuestro estudio decidimos incorporar crecimiento económico en niveles (PIB) la rentabilidad factorial (RF), los precios internacionales del petróleo Brent (PPB), y las exportaciones no tradicionales (Expno), todos de forma trimestral, todas variables independientes y la IED la variable dependiente. En nuestros 3 modelos a estimar no se incluyen la carga tributaria, el riesgo y el crecimiento de la productividad que determina el tamaño del mercado futuro, puesto que, su frecuencia es anual o mensual, lo que implica una transformación hacia series trimestral para un análisis consistente, además, que implicaría la construcción de las series, así que por el momento no las tuvimos en cuenta en los modelos de pronósticos estimados en esta investigación, pero si como agenda futura de investigación.

Se proponen 3 modelos de *Machine Learning* enfocado en redes neuronales: El primero consiste en MLP *Multi-layer Perceptron* (MLP), es decir, un aprendizaje supervisado, el segundo tiene que ver con un MLPRegressor que implementa un perceptrón multicapa (MLP) que se entrena usando la propagación hacia atrás sin función de activación en la capa de salida, que también puede verse como el uso de la función de identidad como función de activación, y finalmente se estima el modelo más consistente y robusto con los pronósticos trimestrales de la IED que tiene que ver con MLPRegressor multivariado, este último consiste en un gama de modelos supervisados, donde tendremos en cuenta los principales determinantes de la literatura que hemos descrito anteriormente y los que mayores correlaciones dinámicas presentaron.

## 6. Resultados

### 6.1 Multi-layer Perceptron (MLP)

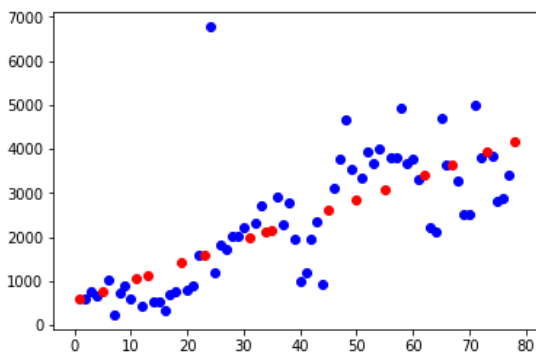
Todos los datos son trimestrales con base en el año 2000, medidos en millones de dólares y se estima con el software Python versión 3.6. A continuación en el gráfico 7 se presentan los resultados de estimación del primer modelo, con un coeficiente de determinación del 61,11%.

Es un modelo de redes neuronales univariado simple, donde pronostica una inversión extranjera directa para el trimestre 3 de 2019 que rondará los 4199 millones de dólares y para el trimestre 4 de 4246 millones de dólares. Como se puede evidenciar, la red está haciendo un

proceso autorregresivo dónde permite ver la tendencia, siendo modelo supervisado. Los datos azules consisten en datos registrados por el Banco de la República, dónde el dato atípico del trimestre 22 tiene que ver con la venta de Bavaria a SABMiller, y los datos en color rojo es la red de entrenamiento de forma lineal, calculando 78 trimestres siendo el primer trimestre del 2000 (1) hasta el último dato registrado del segundo trimestre del 2019 (78).

### Gráfico 7: Pronósticos del Modelo 1

El valor de r2: 0.6111386245658945  
La IED en el tercer trimestre 2019 [4199.94988926]  
La IED en el cuarto 2019 [4246.29905521]



Fuente: Simulación realizada en Python 3,6

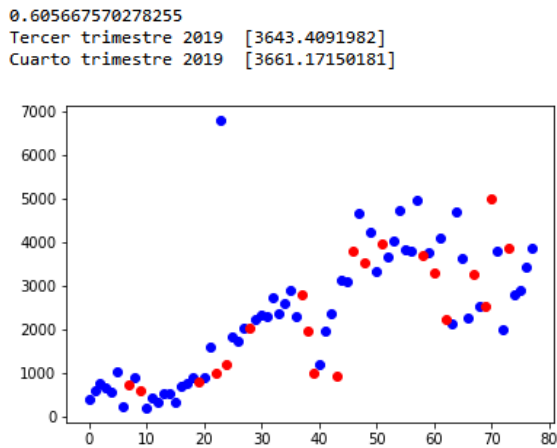
No obstante, los resultados están un poco lejos de lo esperado, están sobreestimados, por consiguiente, se necesita un modelo que incluya variables explicativas desde la teoría macroeconómica y de carácter no lineal, por ello la necesidad de estimar y seleccionar otros modelos.

### 6.2 Modelo 2: MLPRegressor

El modelo 2 usa redes neuronales que se alimentan de series temporales. A continuación en el gráfico 8 se presenta la estimación, dónde se muestra una significativa mejora en los pronósticos de la IED para Colombia por la inclusión de series temporales y porque el modelo usa un aprendizaje supervisado de los variables de entrada, puesto que, se va alimentando de series de variables macroeconómicas estimando una gama de modelos hasta que encuentre uno mejor que el 60% de explicación, el mejor modelo que es del 60,56, de todas las estimaciones realizadas, evidencia el descenso de la IED para los próximos trimestres del año

2019 siendo 3643 y 3661 millones de dólares respectivamente, en consonancia con lo esperado desde la teoría de macro y el grupo de coyuntura de económica, inducido por el comportamiento y las revisiones a la baja de principales agregados macroeconómicos, adicionalmente, como usa propagación hacia atrás replica de forma casi precisa el comportamiento trimestral pasado del 2000-2019 de la IED siendo los puntos azules los registrados por el BanRep y los puntos rojos el entrenamiento de la red como se muestra en el siguiente gráfico.

**Gráfico 8: Pronósticos del Modelo 2**



**Fuente:** Simulación realizada en Python 3,6

### 6.3 Modelo 3: MLPRegressor múltiple

Finalmente, a continuación, se plantea formalmente el Modelo 3:

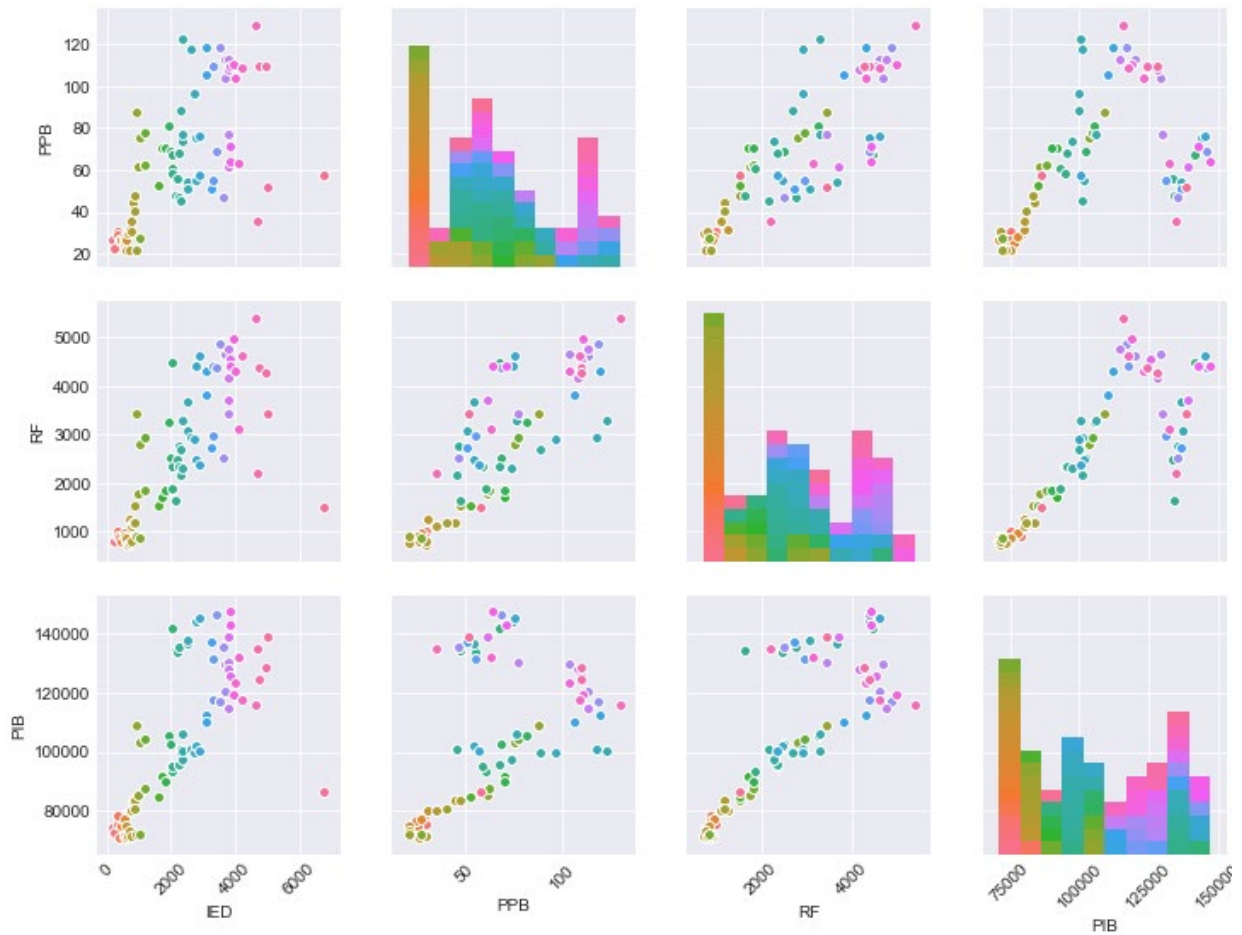
$$\text{Inversión Extranjera Directa} = a_0 + a_1\text{PIB} + a_2\text{Precio del petróleo} + a_3\text{Renta Factorial} + a_4\text{Exportaciones no tradicionales} + \text{error estocástico.}$$

El crecimiento económico es fundamental para la perspectiva de la toma de decisiones respecto a invertir, ahora bien, es importante el precio del petróleo puesto que la economía colombiana concentra sus exportaciones en el 60% de la canasta exportadora, se adiciona las exportaciones no tradicionales y la renta factorial nos cuenta el neto las inversiones de colombianos en el exterior, finalmente se le agrega el error estocástico de forma convencional.

Primero hacemos un análisis de correlaciones entre las variables, que se muestra en el gráfico 9, fundamental para aprendizaje supervisado de las redes neuronales. Para mejor entendimiento, básicamente lo que se está haciendo son unas capas de entrada que son los datos de las series temporales de forma trimestral del crecimiento económico, el precio del petróleo brent, las exportaciones no tradicionales y la renta factorial que alimenta de forma no lineal la neurona artificial o también conocida como capa oculta, para poder arrojar los pronósticos que es la famosa capa de salida que son los pronósticos de la IED en los dos siguientes trimestres de año 2019. Realizando las regresiones en el tiempo, se interpretan las correlaciones dinámicas en la figura 9 de forma gráfica, que muestran un patrón claro entre nuestras principales variables explicativas y la variable IED. Se evidencia que uno de los factores que más correlación en el tiempo muestra con la IED es el PIB y el PPB (Precio del petróleo tipo brent), por consiguiente, en la parte inferior se muestra la correlación entre ambas variables.



Gráfico 9: Análisis en el tiempo IED vs PIB, precio del crudo (PPB) & renta factorial (RF)



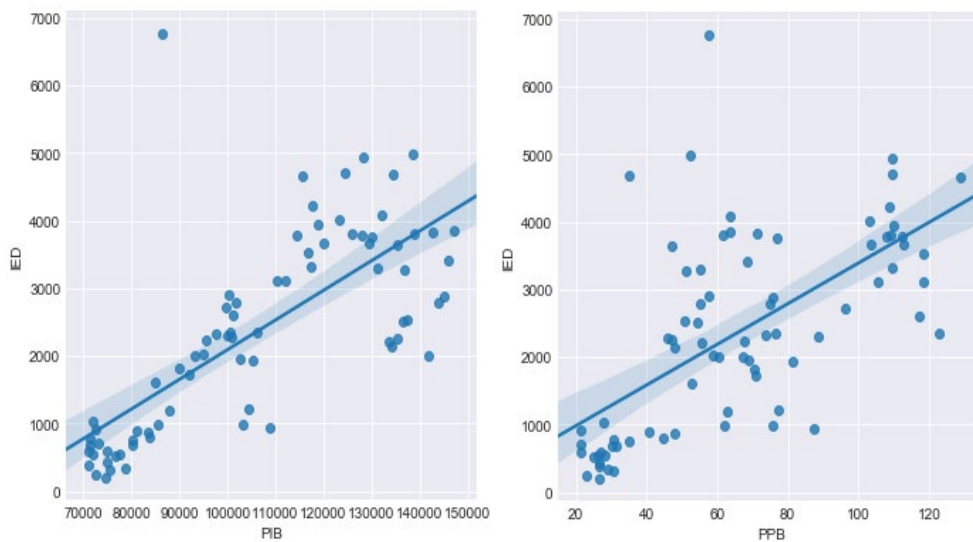
Fuente: Simulación realizada en Python 3,6

Como se evidencia en las estimaciones que muestran la relación en el periodo 2000-2019 medidos en millones de dólares de forma trimestral, la inversión extranjera directa muestra co-movimientos con el PIB, el precio del petróleo Brent y la renta factorial, lo que implica que las redes neuronales se alimentarán con series temporales que desde la teoría macro y los datos registrados inciden en el desempeño trimestral de la Inversión Extranjera Directa en Colombia, que permitirá pronósticos más precisos y robustos.

Ahora bien, teniendo en cuenta la particularidad de los resultados entre la IED versus el precio del petróleo Brent y el nivel de crecimiento de la economía colombiana, se estiman de forma individual y de forma más detallada la relación entre estas variables y se muestra en el gráfico 10 un análisis comparativo en el tiempo. Como se puede observar, la relación en el tiempo entre

la IED y el PIB muestra señales de cointegración, mientras que entre la IED y los precios internacionales de petróleo Brent parece aproximarse a una relación positiva, aunque menos clara, de entrada no es lineal, lo que no es problema para aprendizaje supervisado, puesto que, puede trabajar con combinaciones de estas series, recordemos que los PPB se miden en dólares por barril y la IED en millones de dólares.

**Gráfico 10: IED vs el PIB y precio del petróleo del 2000-2019 en millones de dólares.**



**Fuente:** Simulación realizada en Python 3,6

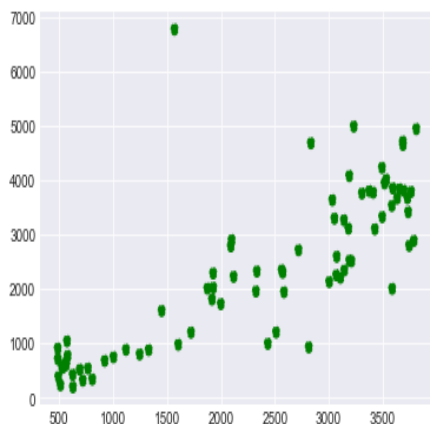
Los pronósticos de la inversión extranjera directa con el modelo 3 fundamentado en variables macroeconómicas, la contribución interesante tiene que ver con que se alimentará la red con datos futuros de las variables explicativas, usando los pronósticos del grupo de coyuntura económica se espera un crecimiento del 3,1% que se efectuará en el PIB para los siguientes trimestres, usando lo que el grupo espera de precios del petróleo siendo 60 y 62 para cada trimestre, finalmente lo que se refiere a la renta factorial se usará la rentabilidad media calculada en la primera parte de este documento.

Teniendo en cuenta se agregan estas estimaciones que nutren y envía señales a nuestro MLP, así las estimaciones del modelo 3 nos muestran como resultado el gráfico 11, que nos indica que el tercer trimestre del año 2019 se presenta una IED que ronde los 3695 millones de dólares y para el cuarto trimestre del año 2019 rondará los 3699 millones de dólares con un coeficiente de determinación del 63,30%, que guarda consistencia con la teoría macroeconómica y

financiera, puesto que, un aumento del crecimiento económico afecta positivamente el atractivo del país mejorando el nivel de inversión de extranjeros al territorio nacional, ya que mejoran los ingresos, un aumento de los precios internacionales del petróleo brent concentra aún más el perfil exportador por sus mayores tasas de retorno, por consiguiente, más inversiones en el sector, por la alta dependencia del petróleo, y la mejora de las exportaciones no tradicionales mejora los retornos de las inversiones de los extranjeros en Colombia en otros sectores, generando un portafolio de inversión un poco más amplio para los inversionistas internacionales.

### Gráfico 11: Pronóstico trimestral de la Inversión Extranjera Directa para Colombia

```
El valor de r2 es: 0.6336072046246684
Los coeficientes son:
' [ 3.24634543e-02  1.52355018e+01 -8.46697890e-03  8.16177318e-02]
Pronóstico de la IED 3 trimestre:
[3695.2726532]
Pronóstico de la IED 4 trimestre:
[3699.61964779]
```



**Fuente:** Simulación realizada en Python 3.6, con datos del grupo de coyuntura económica, Banrep & DANE

## Conclusiones

Los principales determinantes de la IED de la economía colombiana en el periodo 2000-2019 son variables macroeconómicas como el nivel de ingresos del país (PIB), el ritmo en que crecen los retornos de las inversiones (rentabilidad media factorial), el comportamiento del precio del

petróleo brent por contar con un fuerte peso en la canasta exportadora, y las exportaciones no tradicionales en menor medida.

Los pronósticos de la IED son más robustos y consistentes a medida que se usan modelos con variables explicativas macroeconómicas como las mencionadas, el modelo 1 que es un modelo auto regresivo de la misma IED está sobreestimado, el modelo 2 mejora sustancialmente teniendo en cuenta la inclusión de variables en tiempo pasado, siendo así el mejor modelo el 3, que predice de forma eficiente y consistente por modelar las variables explicativas por la naturaleza de contar con tiempo pasado y tiempo futuro como el pronóstico de los dos siguientes trimestres, lo que significa que la teoría macroeconómica es una parte fundamental para darle sentido a los modelo de *Machine Learning* para obtener mejores estimaciones e interpretaciones de los resultados. Las redes neuronales que trabajan de forma autorregresiva son insuficientes para pronosticar de forma precisa, por tanto el desarrollo de los modelos de redes neuronales son una herramienta que están siendo incursionando en el mundo macro-financiero y arrojan resultados más consistentes y estructurales que los modelos de series de tiempo ARIMA y VAR que usualmente se estima cuando incluimos variables explicativas, por consiguiente, se recomienda su uso para análisis multivariable y multiperiodo de series macro relevantes, no obstante, sin dejar de lado nunca la teoría macroeconómica que sigue siendo la parte esencial de mejora de pronósticos más precisos y consistentes en el tiempo.

Quedan bastantes retos, como intentar simular políticas que cambien la trayectoria de la IED en Colombia, proyectando escenarios. Adicionalmente, para futuras investigaciones es fundamental retomar la estructura tributaria, la productividad y el riesgo financiero, acompañado de otras variables financieras de los mercados de capitales que son relevantes en la evolución de la IED y sin duda alguna mejoraría el modelo sustancialmente.

## Referencias

- [1] Arango-Aramburo, S. (2017). Simulating mining policies in developing countries: The case of Colombia. *Socio-Economic Planning Sciences*, pp 1-15.
- [2] Banco de la República (2019). Estadísticas del sector externo: Balanza de Pagos. Recuperado de: <http://www.banrep.gov.co/es/estadisticas/balanza-pagos>.
- [3] Banrep. (2017). BALANZA DE PAGOS DE COLOMBIA, Metodología y Fuentes de Información. Obtenido de Sitio Web Banco de la República de Colombia: [http://www.banrep.gov.co/sites/default/files/paginas/Metodologia\\_Balanza\\_Pagos.pdf?\\_ga=2.15431542.1319966889.1555195672-940919529.1540828102](http://www.banrep.gov.co/sites/default/files/paginas/Metodologia_Balanza_Pagos.pdf?_ga=2.15431542.1319966889.1555195672-940919529.1540828102)
- [4] Banrep. (2018). Evolución de la Balanza de Pagos y Posición de Inversión Internacional. Bogotá: Subgerencia de política monetaria e información económica sector externo.
- [5] Banco de la República (2018). Flujos de inversión directa-balanza de pagos. Recuperado de: <http://www.banrep.gov.co/es/inversion-directa>
- [6] Comisión para América Latina y el Caribe (CEPAL) (2018). La Inversión Extranjera Directa en América Latina y el Caribe. pp 9-131
- [7] Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) (2018). La Inversión Extranjera Directa en América Latina y el Caribe. Estadísticas.
- [8] Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) (2019). Estadísticas por tema. Recuperado de: <http://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/comercio-internacional>
- [9] Departamento Nacional de Planeación (DNP) (2019). Estadísticas comercio exterior. Recuperado de: <https://www.dnp.gov.co/programas/desarrollo-empresarial/comercio-exterior-e-inversion-extranjera/Paginas/estadisticas.aspx>
- [10] Garavito, A., Iregui, A., Ramírez, M. (2012). Determinantes de la inversión extranjera directa en Colombia: Un estudio a nivel de firma. *Borradores de Economía* Núm 714, 2012.
- [11] Gil, E., López, S., Espinosa, D. (2013). Determinants of Foreign Direct Investment in South America. *Perf. de Coyunt. Econ. no.22 Medellín Dec. 2013*.
- [12] International Energy Agency (2019). Statistics & data. <https://www.iea.org/statistics/>
- [13] Martínez, A., Cristiano, D., Gaitan, C., & Sandoval, D. (2007). La Inversión Directa de Colombia en el Exterior (IDCE) y su renta: determinantes y dinámica reciente. *Borradores de Economía*, 1068, 2007.

[14] Montañez, D. & García, L. (2019). Informe especial: Evolución y Análisis de la Renta Factorial en Colombia. Grupo de análisis de coyuntura económica, N°18,2019.

[16] Scikit-Learn of Python (2019). [https://scikit-learn.org/stable/modules/linear\\_model.html#bayesian-regression](https://scikit-learn.org/stable/modules/linear_model.html#bayesian-regression).

[15] World Bank Group. (2019). Metadata. Recuperado de: <https://datos.bancomundial.org/indicador/NY.GDP.MKTP.CD?end=2017&locations=CO&start=1995>



Escuela de Economía y Finanzas  
Centro de Investigaciones Económicas y Financieras  
Grupo de investigación en Estudios en Economía y Empresa  
Línea de Macroeconomía Aplicada

Carrera 49 N° 7 Sur-50, Medellín - Colombia  
Teléfono: (057-4) 261 9500 Ext 9532 - 2619532  
[cief@eafit.edu.co](mailto:cief@eafit.edu.co)

Vigilada Mineducación