



**MODELIZACIÓN MATEMÁTICA COMO HERRAMIENTA PARA LA
PLANIFICACIÓN AGRÍCOLA, AMBIENTAL, ECONÓMICA Y SANITARIA**
**MATHEMATICAL MODELING AS A TOOL FOR AGRICULTURAL,
ENVIRONMENTAL, ECONOMIC AND HEALTH PLANNING**
**MODELAGEM MATEMÁTICA COMO FERRAMENTA PARA O
PLANEJAMENTO AGRÍCOLA, AMBIENTAL, ECONÔMICO E SANITÁRIO**

Fredin Fernando Pozo Parra

frepo1000@hotmail.com

Master universitario en ingeniería matemática y computación

Departamento De Ciencias Exactas Universidad De Las Fuerzas Armadas –
Espe

<https://orcid.org/0000-0001-7189-1320>

1

Karen Mabel Pozo Sotomayor

karenpozo93@hotmail.com

Egresada Ingeniería Matemática

Escuela Politécnica Nacional

<https://orcid.org/0009-0009-3228-2720>

Recibido: 03/07/23

Aceptado: 12/08/23

Publicado: 05/09/23

Correspondencia: frepo1000@hotmail.com



RESUMEN

La aplicación de la matemática a pesar de que a veces resultan abstracta es extremadamente útil para el manejo de datos que permitan la modelización de procesos cotidianos que pueden causar un daño severo a la población mundial sino se toman las medidas pertinentes para mitigar los riesgos potenciales e causar daños que afecten la actividad, agrícola, ambiental, así como la salud pública. Un adecuado manejo de estos mediante modelos matemáticos permite minimizar los mismos y hacer una adecuada planificación, reduciendo los riesgos potenciales maximizando los beneficios económicos. Para analizar el alcance de sus aplicaciones de los modelos de simulación para la planificación en el ara agrícola, ambiental y sanitaria, así como sus implicaciones económicas se hizo una revisión sistemática empleando la metodología PRISMA mediante la revisión de 240 artículos en base de datos científicas como Scopus, Scielo, Latindex, Redalyc y google académico, de los cuales se seleccionaron 32 artículos de acuerdo con los criterios de inclusión empleados en la búsqueda. Los resultados muestran que la modelización ha avanzado desde los análisis de datos mediante modelos de regresión a métodos más potentes basados en lógica, difusa, inteligencia artificial y redes neuronales, cuya aplicación ha sido de gran utilidad para la predicción de los rendimientos y precios en área agrícola, la estimación de los daños ambientales producto de las actividades antrópicas, y el anejo d emergencias sanitaria como el COVID-19. El uso de los modelos de simulación demuestra la importancia del uso de las matemáticas para la simulación de los hechos de la vida real coadyuvando a la toma de decisiones y reduciendo los riesgos que puedan desmejorar la calidad de vida de la población mundial.

Palabras claves: econometría, epidemias, predicción, riegos, seguridad.

ABSTRACT

The application of mathematics, despite the fact that it is sometimes abstract, is extremely useful for data management that allows the modeling of daily processes that can cause severe damage to the world population if the pertinent measures are not taken to mitigate potential risks and cause damage that affects the activity, agricultural, environmental, as well as public health. An adequate management of them through mathematical models allows minimizing them and making an adequate planning, reducing potential risks and maximizing economic benefits. In order to analyze the scope of its applications of simulation models for planning in the agricultural, environmental and sanitary areas, as well as its economic implications, a systematic review was carried out using the PRISMA methodology



through the review of 240 articles in scientific databases such as Scopus, Scielo, Latindex, Redalyc and google academic, of which 32 articles were selected according to the inclusion criteria used in the search. The results show that modeling has advanced from data analysis through regression models to more powerful methods based on logic, fuzzy, artificial intelligence and neural networks, whose application has been very useful for predicting yields and prices in the area. agriculture, the estimation of environmental damage as a result of anthropic activities, and the anticipation of health emergencies such as COVID-19. The use of simulation models demonstrates the importance of using mathematics for the simulation of real life events, contributing to decision making and reducing the risks that may impair the quality of life of the world population.

Keywords: econometrics, epidemics, prediction, risks, security.

RESUMO

A aplicação da matemática, apesar de às vezes ser abstrata, é extremamente útil para o manejo de dados que permitem a modelagem de processos cotidianos que podem causar danos severos à população mundial se as medidas pertinentes não forem tomadas para mitigar os riscos potenciais e causar danos que afetem a atividade agrícola, ambiental e a saúde pública. Um manejo adequado desses processos por meio de modelos matemáticos permite minimizá-los e fazer um planejamento adequado, reduzindo os riscos potenciais e maximizando os benefícios econômicos. Para analisar o alcance das aplicações dos modelos de simulação no planejamento agrícola, ambiental e sanitário, bem como suas implicações econômicas, foi realizada uma revisão sistemática utilizando a metodologia PRISMA, revisando 240 artigos em bases de dados científicas como Scopus, Scielo, Latindex, Redalyc e Google Acadêmico, dos quais foram selecionados 32 artigos de acordo com os critérios de inclusão utilizados na pesquisa. Os resultados mostram que a modelagem avançou desde a análise de dados por meio de modelos de regressão até métodos mais poderosos baseados em lógica difusa, inteligência artificial e redes neurais, cuja aplicação tem sido muito útil para a previsão de rendimentos e preços na área agrícola, estimativa de danos ambientais decorrentes de atividades antropogênicas e o enfrentamento de emergências sanitárias como a COVID-19. O uso de modelos de simulação demonstra a importância do uso da matemática para simular eventos da vida real, contribuindo para a tomada de decisões e reduzindo os riscos que possam deteriorar a qualidade de vida da população mundial.

Palavras-chave: econometria, epidemias, previsão, riscos, segurança.



1. INTRODUCCIÓN

El manejo de grandes volúmenes de datos o lo que se conoce como big data es clave para la toma de decisiones, siempre y cuando los mismos sean acompañados de herramientas matemáticas que permitan su modelización y la estimación de manera efectiva de los mismos, afortunadamente Ecuador cuenta con una base de datos de calidad y diversificada en diferentes áreas y con el avance de la informática se pueden usar modelos matemáticos basados en análisis de regresión (Recalde et al., 2022), inteligencia artificial (Martínez, 2019), lógica difusa (Quispe et al., 2021) y redes neuronales (Vergaray, 2021).

El uso de los modelos para la toma de decisiones es amplio, pero quizás es el más conocido su empleo en el ámbito sanitario, en especial en el periodo entre 2020-2022, donde el uso de las herramientas estadísticas en el campo de epidemiología cobró mayor relevancia para observar el comportamiento del COVID-19 y predecir el aumento o disminución de casos (León et al., 2020), el número estimado de fallecimientos (Álvarez, 2020), las regiones con mayor incidencia de la enfermedad (Moreno et al., 2020) y el éxito o no de las medidas sanitarias (Garrido et al., 2022) y las campañas de vacunación.

La segunda área donde se han aplicado los modelos de simulación es en el ámbito agrícola con el propósito de predecir y estimar los rendimientos de cultivos de interés estratégico para el país y además estimar el comportamiento de los precios, situaciones que es clave en el sentido de que Ecuador es un país agroexportador en rubros como banano (Jayasinghe et al., 2022), café (Abreu et al., 2022) y cacao (Wilson et al., 2019) y por lo tanto se debe hacer un esfuerzo en analizar el comportamiento del mercado mediante la modelización, debido a la incertidumbre propia en el área agrícola, debido a la variabilidad tanto en los parámetros productivos como en los ambientales.

Uno de los aspectos que más preocupación causa en la humanidad son los cambios que se producirán en el medio ambiente producto de las actividades antrópicas, bien sea agrícola (Reyes y Cano, 2022), mineras (Valderrama et al., 2019) e industriales (Aguilar et al., 2020), debido que a que se observa con alarma el aumento de los problemas ambientales como contaminación de suelos y agua (Guzmán et al., 2019; Pabón et al., 2020), erosión hídrica (Matías et al., 2020), inundaciones y sequías (Mendoza et al., 2019) y cambio en los regímenes de temperatura y precipitación (Cravero et al., 2020), como consecuencia del cambio climático (Lozano et al., 2021), por lo que se hace necesario la estimación de los parámetros ambientales, de tal manera de identificar cuáles son las prácticas correctas para mitigar estos problemas, así como el éxito de las políticas ambientales asumidas por los distintos países.



Finalmente todas las actividades antrópicas si como las políticas públicas tienen un impacto social y económico, cuya medición es importante para tomar las decisiones adecuadas que mejoren la calidad de vida de los habitantes de un país o región geográfica, es por ello que ha surgido el uso de los modelos matemáticos en el área econométrica (Cárdenas y Echeverría, 2021), cuyo objetivo es medir los cambios en los parámetros sociales, demográficas y económicos como índices de pobreza (Martínez et al., 2019), desempleo (Chacalo y Vásquez, 2019), migraciones (Delgado et al., 2019), de modo que se pueda garantizar que los modelos económicos y las políticas públicas disminuyan las desigualdades existente entre las naciones.

Como se observa la predicción es la clave para que la planificación en el área agrícola, ambiental sanitaria y económica sea exitosa y dado que el manejo de grandes volúmenes de datos resulta difícil de procesas, se deben usar herramientas matemáticas las cuales cada día son más avanzadas y por lo tanto el propósito de esta investigación fue realizar la revisión sistémica de artículos científicos durante el periodo 2018-2023, para describir y analizar el uso de modelos matemáticos para la estimación de parámetros en el área agrícola, ambiental sanitaria y económica.

1.1. Revisión sistemática de bibliografía

Se hizo una revisión sistemática basada en el análisis del uso de modelos de simulación basados en análisis de regresión, lógica difusa, redes neuronales e inteligencia artificial para la simulación de escenarios con fines de planificación agrícola, ambiental, económica y sanitaria, comparando además la eficiencia de los distintos modelos usados. Esta revisión fue llevada a cabo siguiendo las normas y procedimientos establecidos en PRISMA revisando en las revistas registradas en bases de datos como en Scopus, Dialnet, Scielo y Google Académico.

1.2. Descripción de la investigación

El tema central para la búsqueda de la investigación fue la búsqueda de articulas que permitan la simulación de escenarios mediante la simulación matemática usando herramientas de análisis de regresión, lógica difusa, redes neuronales e inteligencia artificial para su empleo en la planificación agrícola, ambiental, económica y sanitaria, comparando además la eficiencia de los distintos modelos usados.



1.3. Proceso de recolección de datos

Se recolectaron artículos científicos donde se evidencie el uso de modelos matemáticos basados en análisis de regresión, lógica difusa, redes neuronales e inteligencia artificial y que se hubiesen empleados en la planificación agrícola, ambiental, económica y sanitaria, además se analizarían artículos donde se compare además la eficiencia de los distintos modelos usado. Los datos recolectados corresponden a un periodo de 5 años y se seleccionaron los trabajos de acuerdo a los criterios de inclusión y exclusión establecidos por los investigadores.

1.4. Criterios de inclusión

Artículos en español e inglés, donde se aborde el uso de modelos matemáticos basados en análisis de regresión, lógica difusa, redes neuronales e inteligencia artificial y que se hubiesen empleados en la planificación agrícola, ambiental, económica y sanitaria, además de artículos donde se compare la eficiencia de los distintos modelos usados.

1.5. Criterio de exclusión

Artículos con solo resumen, datos generados de 5 años o más, publicaciones no indexadas en base de datos reconocidas y que solo presenten resúmenes.

1.6. Parámetros seleccionados para la búsqueda

Los parámetros usados para la búsqueda fueron estimación de rendimientos agrícolas, variabilidad de precios, problemas ambientales, erosión, cambio climático, contaminación, inundaciones, sequia, riesgos sanitarios, epidemiología, pandemias, pobreza, modelos econométricos, pobreza, desempleo.

1.7. Variables evaluadas

Se evaluó en primer lugar los modelos que permiten predecir los rendimientos agrícolas y variabilidad de precios, seguido de modelos para estimar problemas ambientales como erosión, cambio climático, contaminación, riesgos de sequía e inundación luego aquellos usados para determinar variables econométricas como pobreza y desempleo y finalmente aquellos para evaluar el comportamiento de enfermedades con aplicaciones en el área epidemiológica.



1.8. Selección de las publicaciones

Para la selección se hizo una revisión donde se verificó en primer lugar el resumen, seleccionando los artículos que cumplieron con los criterios de búsquedas establecidas, previamente, los trabajos rechazados a nivel de resumen fueron pasados a una segunda revisión donde se evaluó el texto completo, aquellos trabajos con información duplicada fueron eliminados. Para la revisión se analizaron artículos desde 01-01-2018 hasta el 28-02-2023.

2. RESULTADOS Y DISCUSION

Para analizar la importancia del uso de modelos de simulación basados en regresión, lógica difusa, redes neuronales e inteligencia artificial para la simulación de escenarios con fines de planificación agrícola, ambiental, económica y sanitaria y comparar la eficiencia entre modelos, se consultaron 240 artículos de los cuales se seleccionaron 80 artículos a texto completo, de estos 48 fueron rechazados, 42 por no cumplir los criterios de inclusión establecidos en la metodología, 2 por ser trabajos no correspondientes a publicaciones científicas y 5 por ser resúmenes. En total se seleccionaron 32 trabajos, en los cuales en 6 se analizan escenarios en el ámbito agrícola, en 8 artículos se describe el uso de modelos para la evaluación del impacto ambiental, mediante modelos se analizan 6 escenarios socio-económicos, en 6 artículos se describen modelos usados en el ámbito sanitario y finalmente mediante 6 artículos se compara la eficiencia de los modelos empleados con diferentes propósitos, usando procedimientos estadísticos, como se observa en la figura 1.

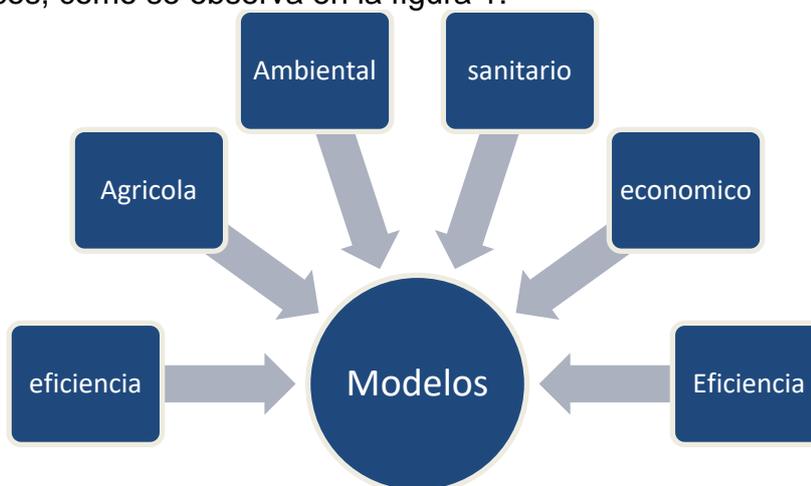


Figura 1. uso de modelos para la simulación de escenarios con fines de planificación agrícola, ambiental, económica y sanitaria.



Los primeros de trabajo de aplicación del modelo modelos matemáticos, se refieren a su uso para la predicción de la producción agrícola, cuyos principales hallazgos se presentan en la tabla 1, presentando un total de 6 trabajos, en diferentes cultivos, donde el manejo agrícola puede conducir a potenciar la productividad de los mismos y los cuales se describen a continuación:

Tabla 1. Experiencia del uso de modelos matemáticos en la evaluación de escenarios en el sector agrícola.

Título	Año	Autores	Revista-Base de datos
Estimación del rendimiento del cultivo de <i>Passiflora edulis</i> (Maracuyá) a partir de modelos estadísticos	2019	Castañeda y Potes	Inventum-Latindex
Aplicación del modelo ARIMA para la producción de la papa en la Región de puno-Perú	2019	Laurente y Laurente	Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales,-Scielo
Estimation of Maize (<i>Zea mays</i> L.) Yield Per Harvest Area: Appropriate Methods	2019	Ngoune Shelton	y Agronomy-Scopus
Estimation of Sugarcane Yield Using a Machine Learning Approach Based on UAV-LIDAR Data	2020	Xu et al.,	Remote sensing-Scopus
Aplicación de modelo matemático para la variación de ingresos de productores de arroz. La Troncal – Cañar	2022	Murillo et al.,	Ciencia latina-Scielo
Predictores del precio de maíz blanco en Jalisco y Michoacán	2022	López et al.,	Remexca-Latindex



La primera experiencia del uso de modelos fue el presentado por Castañeda y Potes 2019, para estimar los rendimientos de maracuyá, en esta investigación los autores encontraron una estrecha relación entre los eventos climáticos y el rendimiento del cultivo, especialmente con la distribución de la precipitación y los fenómenos que afectan la floración y el transporte de polen (velocidad del viento y porcentaje de humedad relativa) los cuales inciden en el desarrollo de la planta, a pesar de haber empleado el modelo se considera que deben generarse estadísticos para validar el modelo y en algunos casos realizar los ajustes, que mejoren su estabilidad y proporcionen una base válida sobre la cual se puede pronosticar resultados,

En el campo agrícola según Laurente y Laurente 2019 el modelo ARIMA es el más apropiado para capturar el comportamiento y la proyección de la producción de papa, de acuerdo a los resultados obtenidos a simular la producción en Puno, una zona andina peruana, cuando se trabaja con información anual, lo que ayudará a planificar las actividades de producción en función de las variaciones de precios, oferta, cambio climático, entre otros factores que se puedan considerar en la modelización.

El uso de los modelos en el ámbito agrícola se fundamenta de acuerdo a lo expresado por Ngoune y Shelton 2019 a que la estimación del rendimiento es fundamental en cualquier sistema de producción de cultivos, considerando elementos como el área de producción, la densidad de plantas, el contenido de humedad del grano en el caso del cultivo del maíz, dado que los modelos de simulación de rendimiento de cultivos y la detección remota brindan la opción de estimar el rendimiento antes de la cosecha y pueden ayudar a los agricultores a estar bien preparados para la próxima temporada de cultivo, no obstante su utilidad, estos métodos de estimación del rendimiento son costosos y no son precisos para parcelas pequeñas.

Entre los modelos usados para la estimación de los rendimientos agrícolas Xu et al., 2020, reporta la capacidad de diferentes algoritmos de regresión (MLR, SMR, GLM, GBM, KRLS y RFR) para estimar los rendimientos de la caña de azúcar. El modelo RFR supera a otros modelos de regresión en términos de precisión de predicción, proporcionando un método importante para mapear la distribución espacial de los rendimientos de caña de azúcar con alta resolución, considerando factores de manejo agrícola, incluida la densidad de siembra, la distancia a la carretera y los métodos de labranza.

El uso de los modelos de simulación también ha sido evaluado en cultivos a gran escala como el arroz, en este sentido Murillo et al., 2022, afirman que el análisis cualitativo y empírico proporciona una mejor comprensión del mercado de arroz en Ecuador, sus características y comportamiento, sin embargo, para el



uso exitoso de los modelos de simulación en este cultivo Sin es indispensable contar con una base de datos más coherente, completa y validada para los mercados de arroz de Ecuador

Uno de los modelos más exitoso para la estimación de los rendimientos, tal como lo afirman López et al., 2022 son aquellos basados en la metodología de Box y Jenkins, el cual es útil para pronosticar los precios de maíz blanco como en el caso de zonas maiceras mexicanas como Michoacán y Jalisco, donde los precios de maíz pudieron ser predichos mediante sus propios valores pasados usando modelos AR (1) y MA (2), por lo que estos predictores constituyen una herramienta útil en la toma de decisiones de los productores y comercializadores de productos relacionados con el maíz.

El segundo de trabajo de aplicación del modelo modelos matemáticos, se refieren a su uso para la predicción de los riesgos de contaminación ambiental producto tanto de las actividades agrícolas como otras actividades antrópicas, cuyos principales hallazgos se presentan en la tabla 2, presentando un total de 8 trabajos, en diferentes cultivos, localidades, así como en función del recurso afectado, donde el manejo agrícola u otra actividad antrópica pueden aumentar los riesgos de contaminación, los cuales se describen a continuación:

Tabla 2. Experiencia del uso de modelos matemáticos para la evaluación del impacto ambiental.

Título	Año	Autores	Revista- Base de datos
Application of neural networks to the prediction of gas pollution of air	2019	Pawul	New Trends in Production Engineering-google académico
Generalized additive models: Building evidence of air pollution, climate change and human health	2019	Ravindra et al.,	Environment International-Scopus
Estimación del factor de transporte del índice de fósforo con climatologías y escenarios de cambio climático en tierras de Jalisco, México	2020	Flores et al.,	Rev Mex Cienc Pecu-Latindex



Time Series Analysis Using ARIMA Model for Air Pollution Prediction in Hyderabad City of India	2021	Gopu et al.	Advances in Intelligent Systems and Computing- resarchgate
A Hybrid Prediction Framework for Water Quality with Integrated W-ARIMA-GRU and LightGBM Methods	2022	Zhou et al.	Water-Scopus
Modelos de dispersión de contaminantes atmosféricos: Revisión sistemática	2022	Rangel et al.,	Campus- researchgate
Trend Analysis and ARIMA Models for Water Quality Parameters of Brahmans River, Odisha, India	2022	Gowthaman	International Journal of Environment and Climate Change.scopus
Prediction of groundwater pollution diffusion path based on multi-source data fusion	2023	Zhang et al.,	Enviromental science-scopus

La importancia del uso de modelo según Pawul 2019 radica en predecir los niveles de contaminación, por ejemplo, del aire es bastante compleja, por lo que se han creado modelos de pronósticos de contaminación del aire, utilizando redes neuronales, sin embargo, es necesario entrenar redes neuronales con un gran conjunto de datos, que representen una amplia gama de medidas, para obtener pronósticos de alta calidad, los datos de entrada deben incluir aquellos que influyen esencialmente en las concentraciones de los contaminantes objeto del proceso de pronóstico.

A pesar de que la tendencia es al desarrollo de redes neuronales autores como Ravindra han estimado la contaminación atmosférica a partir de modelos de regresión, la cual ha sido una herramienta estadística importante durante décadas para medir los efectos a corto y largo plazo de la contaminación del aire, sin embargo, dado que la mayoría de los datos ambientales no son normales, se proponen modelos aditivos generalizados (GAM) dado que proporciona un



método analítico más eficaz que los modelos lineales tradicionales.

Además los modelos de simulación también han sido empleados para establecer la relación entre el cambio climático y la contaminación del aire, como lo señalan Flores et al., 2020, quienes demuestran la factibilidad de aplicación de un modelo de simulación a las condiciones de Jalisco (México), usando para la simulación la climatología base de 2010 y así obtener escenarios de cambio climático con climatologías futuras propuestas, lo que permitió identificar las tendencias de la ruta de concentración de gases efecto invernadero bajo los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5 en Jalisco, encontrando que para el escenario RCP4.5, el cambio negativo en el FTIP implicó un aumento, lo que significa un incremento en el riesgo por contaminación difusa de P, pero con un cambio positivo para el escenario RCP 8.5, donde el riesgo por contaminación difusa de P se reduce

Gopu et al. 2021 también ha demostrado la utilidad de los modelos para la estimación de los valores de los contaminantes atmosféricos, lo que ha permitido en este caso al Gobierno de la India puede tomar ciertas medidas para reducir los contaminantes nocivos y crear mucha más conciencia entre las personas, no obstante el reto es desarrollar modelos más avanzados que se ocupen de la predicción de contaminantes atmosféricos e impulsar los cambios para mejorar la calidad del medio ambiente y disminuir el nivel de contaminación del aire.

En función de los resultados presentados en los párrafos anteriores Rangel et al., 2022 muestran la importancia y utilidad de los modelos de dispersión atmosférica y su aplicabilidad dependiendo del escenario, dado que los resultados pueden ser muy diferentes, por lo tanto la selección del modelo depende del tiempo, escenario, fuente de emisión y la estabilidad atmosférica y su importancia radica en que el uso adecuado de los mismos permiten pronosticar la concentración de la dispersión de contaminantes atmosféricos

Los modelos de simulación, también ha sido empleados para determinar la contaminación del agua, como lo demuestran Zhou et al. 2022 que al usar datos de series temporales de calidad del agua, lograron predecir la posible situación futura de la calidad del agua en una región de Beijing en China, empleando redes neuronales gráficas para la extracción de características espaciales, a fin de reflejar los cambios espaciales y temporales en la calidad del agua, lo que permitirá el establecimiento de un marco de alerta temprana de contaminación del agua más completo para la predicción oportuna de la calidad del agua y proporcionará modelos teóricos y referencia científica abordar problemas potenciales.

En este mismo sentido Gowthaman 2022, señala que los modelos matemáticos proporcionan un análisis estadístico de los cambios en los factores



relacionados con la calidad del agua, para pronosticar las concentraciones de varios indicadores en los años siguientes, usando para ello el modelo ARIMA en sus diferentes versiones para hacer predicciones y evaluar la bondad de ajuste estadístico, quienes demostraron ser los más efectivos para pronosticar el agua futura parámetros de calidad, encontrando que los parámetros de calidad del agua pH, OD y DBO están todos dentro de los límites aceptables, aunque TC se desvía marginalmente

A pesar del éxito de los modelos basados en análisis de regresión, para estimar la contaminación del agua, autores como Zhang et al., 2023 proponen la combinación de la tecnología de fusión de datos multivariante para predecir y analizar la ruta de difusión de la contaminación del agua subterránea para mejorar la precisión de la predicción de la ruta de difusión de la contaminación del agua subterránea, demostrando que la fusión de datos multivariada propuesta en este artículo puede desempeñar un papel importante en la predicción de la ruta de difusión de la contaminación del agua subterránea.

El tercer grupo de trabajos de aplicación del modelo matemáticos, se refieren a su uso para la predicción de los escenarios futuros en el ámbito económico, asociado a los riesgos de incremento de pobreza y desempleo, cuyos principales hallazgos se presentan en la tabla 3, presentando un total de 6 trabajos, en diferentes actividades productivas, donde el manejo de las economías mundiales puede incrementar los riesgos de las desigualdades sociales como la pobreza y desempleo los cuales se describen a continuación:

Tabla 3. Experiencia del uso de modelos matemáticos en la evaluación de escenarios futuros de la actividad económica.

Titulo	Año	Autores	Revista-Base de datos
Uso de softwares estadísticos/econométricos, como herramientas en la investigación económica y administrativa	2018	Reyes et al.,	Tiempo Económico-Latindex
Innovation activity development of urban public transport service providers: Multifactor economic and mathematical model	2019	Borysova et al.,	Marketing and Management of Innovations-researchgate



Aplicación de la Econometría en la Evaluación de Políticas Públicas	2020	Moreno	Revista electrónica sobre la enseñanza de la Economía Pública-Latindex
Machine learning and structural econometrics: contrasts and synergies	2020	Iskhakov et al.,	Econometrics Journal. Google académico
El nexa entre la pobreza y la producción petrolera: Un modelo econométrico	2021	Bethancourt	Humania del Sur-google académico
A Review of Software for Spatial Econometrics in R	2021	Bivand et al.,	Mathematics-Scopus

Reyes et al., 2018 destacan que la estadística y la econometría son áreas complementarias y en ese sentido en los últimos años ha habido el uso de programas de informática, para el mejor desarrollo de soluciones y modelos. Lo que ha llevado principalmente a reducir los tiempos de ejecución de problemáticas relacionadas con el área. En estos programas informáticos, se analiza cuál es la mejor opción para cada actividad a realizar, siendo los programas más eficientes Matlab y el Stata, la ventaja de contar con una diversidad de softwares estadísticos y econométricos facilita al usuario el cálculo de sus variables y métodos en una investigación, tales como el ARCH y GARCH, ARIMA, modelos de auto-correlación, regresión beta, bootstrapping, Box-Cox Modelos, la regresión exponencial, el análisis factorial y las series de tiempo financieras;

En este mismo orden de ideas Borysova et al., 2019 han demostrado que el tamaño de la capacidad de innovación de los proveedores de servicios de transporte público utilizando modelos matemáticos multifactoriales, que refleja la relación entre los factores gestionados y la innovación, es adecuado y puede utilizarse para predecir la contribución de la innovación de los proveedores nacionales de servicios de transporte público urbano a la comunidad.

Dado a las experiencias exitosa de los modelos econométricos, autores como Moreno 2020, afirman que la econometría, puede llegar a ser una herramientas para evaluar el funcionamiento de la realidad que y a través de estas aplicaciones se proporciona a los usuarios de un marco de referencia fácilmente aplicable a cualquier otra problemática que quiera estudiarse a



posteriori, lo que facilitaría la toma de decisiones y poder establecer los correctivos necesarios en caso de que las acciones llevadas a cabo, no sean las más correctas.

Con el avance de la informática los modelos econométricos han avanzado hacia la denominada inteligencia artificial (IA) como lo describen Iskhakov et al., 2021, quienes afirman que el aprendizaje automático (ML) es una forma nueva, muy exitosa y poderosa de IA, la cual contribuirá a analizar de manera más precisa los datos en el campo econométrico y hacer estimaciones con mayor exactitud, ayudando a los tomadores de decisiones a una planificación estratégica más efectiva.

En este orden de ideas Bethancourt 2021 desarrollo de un modelo matemático que permite pronosticar el comportamiento de la deuda externa en países petroleros, el mismo fue validado al comparar la proyección obtenida con data real proveniente de las deudas externas de varios países petroleros, demostrando un comportamiento estadístico aceptable al realizar la simulación, por lo que el mismo podrá ser utilizado para la estimación de las deudas en los países petroleros y su uso extrapolado para el cálculo de deuda en otros ámbitos.

Dado el aumento en la frecuencia del uso de los modelos econométricos, Bivand et al., 2021 realizó una revisión de la funcionalidad de los métodos econométricos espaciales disponibles en el sistema R para la computación estadística, a la luz de los desarrollos históricos de los métodos, de tal manera de evaluar su funcionalidad en relación la precisión para la estimación de los procesos que se desean analizar y ofrecer una alternativa en ambientes de programas informáticos de libre acceso.

El cuarto de trabajo de aplicación del modelo modelos matemáticos, se refieren a su uso para la predicción de los riesgos sanitarios y las medidas que se deben tomar para su prevención y mitigación, cuyos principales hallazgos se presentan en la tabla 4, presentando un total de 6 trabajos, referentes a diferentes enfermedades, donde el manejo sanitario es clave para reducir las consecuencias de las enfermedades, para adoptar las medidas que reduzcan los contagios y mortalidad, los cuales se describen a continuación:



Tabla 4. Experiencia del uso de modelos matemáticos en la evaluación de los riesgos sanitarios y la adopción de medidas de prevención.

Título	Año	Autores	Revista- Base de datos
Modelos de predicción del impacto y evolución del COVID-19 en república dominicana	2020	Franco et al.,	Ciencia, Ambiente y Clima-Dialnet
Estimación de casos de COVID-19 en países de Suramérica empleando modelos ARIMA (Autorregresivo Integrado de Promedio Móvil)	2020	Gutiérrez et al.,	Observatorio del conocimiento.researchgate
Modelos matemáticos para el control epidemiológico	2020	Vidal et al.,	Educación médica superior-Scielo
Modelo matemático optimizado para la predicción y planificación de la asistencia sanitaria por la COVID-19	2022	Garrido et al.,	Medicina intensiva-Scopus
Predicción de infectados por Covid-19 en el Perú por el modelo de media móvil integrada autorregresiva	2022	Huamacuni	Ciencia y desarrollo-Scielo
Necesidad de superación en modelos matemáticos de epidemiología	2022	Betancourt et al.,	Arch méd Camagüey-Scielo

Una de las ventajas observadas al aplicar los modelos sanitarios es que, según Franco et al., 2020 las estimaciones obtenidas por los modelos no difieren mucho de otras estimaciones ya realizadas para el caso de Republica dominicana en el contexto del COVID-19 (Luo, 2020), que estiman la disminución de los casos entre mayo y junio. Los resultados obtenidos en este estudio pueden ser utilizados para la toma de decisiones, no obstante las aproximaciones presentadas a partir de los datos y modelos obtenidos no necesariamente predicen por completo el comportamiento de la pandemia, debido que esto pueden ser afectados por diversos factores y variables (sociales, económicas y culturales) que no pueden ser introducidos dentro del modelo, otro factor importante para la construcción de los modelos es la calidad y la disponibilidad



de los datos

El éxito de los modelos de simulación sanitario fue demostrado en el contexto pandémico, tal como lo señala Gutiérrez *et al.*, 2020, donde muestra que los resultados de la estimación para el total acumulado de casos en la región suramericana, tiene en su mayoría un claro crecimiento exponencial lo cual podría sugerir que es aún temprano para adoptar medidas de desconfinamiento, a la par que hace necesario reestructurar las medidas de distanciamiento físico, cuyo análisis fue posible mediante la implementación de los modelos ARIMA que es una aproximación matemática que permite hacer estimaciones de la dinámica de las enfermedades infecciosas en función del tiempo, debido a su fácil estructura y rápida aplicabilidad.

La importancia de la predicción en el campo de la epidemiología, radica de acuerdo a Vidal *et al.*, 2020 en que el control de las epidemias resulta esencial el número reproductivo R , el cual es el número promedio de casos secundarios de la enfermedad causados por un individuo infectado en el transcurso del período infeccioso o de contagio y para lo cual han propuesto varios métodos para estimar R durante una epidemia, como el uso de modelos matemáticos, sin embargo, por lo general, los mismos resultan métodos difíciles de implementar por las personas que no están familiarizadas con la modelación matemática.

Los modelos de previsión epidemiológica de acuerdo a Garrido *et al.*, 2022 permite evaluar el impacto de las distintas estrategias de restricción poblacional frente a pandemias como del COVID-19, lo que permite estimar su duración, intensidad y el contexto basal de incidencia y prevalencia, así como prever el nivel de presión asistencial relativo al número de pacientes hospitalizados e ingresados en unidades de cuidados intensivos (UCI), por lo que los modelos matemáticos se convierten en una herramienta muy adecuada para diseñar planes de actuación y asistenciales a medio plazo, pudiendo incorporar cronológicamente los eventos

Uno de los modelos usados con mayor éxito de acuerdo a Huamacuni 2022 es el modelo el ARIMA, el cual resulta excelente para predecir número de casos infectados diarios; mientras que, en la predicción de muertes por día fue el más óptimo, a pesar del éxito del mismo Betancourt *et al.*, 2022 evidencia la necesidad de trabajar de manera transdisciplinaria con simulaciones para que las utilicen como herramientas con el fin de valorar el efecto de diferentes intervenciones, destacando que los modelos estocásticos que son más precisos que los deterministas.

Finalmente el último grupo de trabajos se refiere a la determinación de la eficiencia de aplicación del modelo modelos matemáticos para la predicción y planificación de las políticas públicas, mediante la estimación de escenarios en



el ámbito agrícola ambiental ,económico y sanitarios, lo cual permitirá determinar a futuro el impacto de la gestión gubernamental de manera de evaluar su eficacia e impacto sobre los cambios que deben redundar en un mejoramiento de las condiciones de vida de la población mundial, la eficiencia de los modelos en los ámbitos considerados se presenta en la tabla 5, mediante el análisis de 6 artículos de investigación

Tabla 5. Eficiencia de los modelos matemáticos empleados en la estimación de escenarios en el área agrícola, ambiental y sanitaria.

Título	Año	Autores	Revista- Base de datos
Estandarización de métricas de rendimiento para clasificadores Machine y Deep Learning	2020	Borja et al.	Risti-Scopus
Comparativa de los modelos Seed-Ildriss y redes neuronales artificiales para la predicción de licuación de suelos	2021	Ore et al.,	Journal of Research and Innovation in Civil Engineering- google académico
Evaluación de dos modelos de predicción del de proteína cruda en Harina de soya mediante la técnica NIRS	2021	Franco y Arjona	Revista Investigaciones Agropecuarias- google académico
Eficiencia de modelos de predicción de COVID-19 usando curvas ROC y matriz de confusión	2022	Inca et al.,	Dominio de las ciencias- google académico
Evaluación de modelos matemáticos para estimar el peso y talla en pacientes adultos usando CRM, RMSE, Pearson y Bland Altman	2022	Chamorro et al.,	Nutr Clín Diet Hosp- Scielo
Estudio comparativo de modelos matemáticos para predecir el poder calorífico de	2022	Rodríguez et al.	Tecnologicas- Scielo



**residuos
mexicanos**

agrícolas

Para evaluar la eficiencia en el funcionamiento de los modelos Borja et al. 2020 propone la estandarización de métricas de rendimiento, la cual se usó para la evaluación de la aplicación de la librería a la clasificación de células leucémicas de sangre periférica, mediante aprendizaje profundo, donde se evidenció como mejor método al “Análisis Lineal Discriminante”; con valores en todas las métricas más elevados que los demás algoritmos. Los resultados concluyeron que: la métrica más sensible y confiable en el caso multinomial desbalanceado es la índice kappa, especialmente en la presencia de clases cada vez más críticas en relación a su frecuencia y tamaño muestral.

Otros de los parámetros usados para estimar la confiabilidad de un modelo es el uso del área debajo de la curva ROC el cual fue aplicado por Ore et al., 2021, para la evaluación de un modelo basado en redes neuronales en estimación de riesgos de licuación de suelos, encontrando que el área debajo de la curva ROC, se obtuvo como resultado 0.879, mostrando una buena aproximación del testeo de los datos, ya que se encuentra dentro de los valores 0.7-0.9. De la comparación de las matrices de confusión obtenemos que es mejor utilizar la metodología de redes neuronales artificiales ya que si ocurriese un evento de licuación de suelos por un movimiento sísmico podría acertar con mayor precisión.

Así mismo Franco y Arjona 2021 han usado parámetros estadísticos como el coeficiente de variación para la evaluación de dos modelos de predicción del de proteína cruda en Harina de soya. Encontrado que el modelo A presentó un menor coeficiente de variación, menor dispersión y error estándar que el modelo N, por lo que concluyen que el modelo ADISSEO estima con mayor precisión el contenido de PC en la harina de soya que el modelo NUTRECO. Los resultados obtenidos con el modelo A y el modelo N son datos referenciales de gran valor al momento de formular raciones que requieren un alto nivel de precisión.

Por su parte Inca et al., 2022, combinan el uso de las curvas ROC y la matriz de confusión, parámetros que permiten evaluar con éxito la calidad de los programas informáticos usados para la predicción del COVID 19 en función de su capacidad discriminantes, precisión y detección del margen de error, lo cual garantiza que la predicción de los mismos es confiable y ayuda al diagnóstico de enfermedades, lo que permitió el diagnóstico rápido y oportuno de pacientes con COVID-19, en especial en las etapas tempranas de la enfermedad, impidiendo el colapso de los centros hospitalarios,



Mientras que Chamorro et al., 2022 empleo el grado de asociación y coeficiente de variación para evaluar la eficiencia de los modelos CRM, RMSE, Pearson y Bland Altman en la estimación de peso y talla de pacientes adultos. Las mediciones por el método de Pearson presenta una variación de 54%, el método ERM de 26.65%, por Bland Altman de 8.49% y RMSE 6.1%. Los métodos de RMSE y Bland Altman presentan una asociación de 0.72, por lo que los métodos de RMSE y Bland Altman son confiables y consistentes en la evaluación de la calidad de estimación de para peso y talla y de los pacientes adultos.

Finalmente, Rodríguez et al. 2022 realizó un estudio comparativo de los modelos matemáticos lineales reportados para la predicción del poder calorífico con base en el análisis proximal; este estudio se realizó considerando datos de residuos agrícolas mexicanos y evaluado la correlación entre el contenido de ceniza y el poder caloríficos, siendo el análisis de correlación un parámetro estadístico a considerar para explicar la variación de los datos, dado que el mejor modelo es aquel que considera la dependencia indirecta del contenido de cenizas. Se observa que cuando el contenido de cenizas es considerado con un alto peso para correlacionar al poder calorífico, puede sobreestimar o subestimar de manera significativa.

3. CONCLUSIONES

El uso de los modelos de simulación mediante aplicaciones matemáticas cobro gran auge durante la pandemia por el COVID-19 donde era urgente evaluar el comportamiento futuro de la misma para determinar la eficiencia de las medidas sanitarias, para su control sin embargo en un futuro su empleo debe trascender al campo econométrico, agrícola y ambiental de tal manera de garantizar una mayor eficiencia de las actividades económicas y asegurar que las mismas causen el menor impacto ambiental posible, logrando así cumplir con el paradigma del desarrollo sustentable.

Una de las ventajas que posee el Ecuador para la implementación de los modelos de simulación en el área econométrica, agrícola, evaluación del impacto ambiental y estimación de los riesgos sanitarios, es que el país se ha desarrollado como política estatal el registro de toda la información estadística generada, contado para el momento con datos actualizados, con una gran cantidad de parámetros estadísticos registrados, lo cual permitirá la aplicación de la mayoría de los modelos matemáticos que han sido descrito en esta investigación.

Se ha observado que la modelización matemática ha avanzado hacia herramientas más pones basadas en a la inteligencia artificial como son el uso de redes neuronales y la lógica difusa, sin embargo, estas presentan la desventaja que requieren de un mayor conocimiento matemático por parte los



usuarios, por lo que el empleo de modelos de simulación basados en ecuaciones de regresión como el ARIMA. SARIMA o ecuaciones empíricas como las usadas para estimar la erosión hídrica del suelo sigan siendo utilizadas con mayor regularidad dado su simplicidad para su aplicación.

4. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Abreu Júnior, C. A. M. D., Martins, G. D., Xavier, L. C. M., Vieira, B. S., Gallis, R. B. D. A., Fraga Junior, E. F., ... & Lima, J. V. D. N. (2022). Estimating Coffee Plant Yield Based on Multispectral Images and Machine Learning Models. *Agronomy*, 12(12), 3195.

Aguilar, S. A. V., Ceferino, C. C. M., & Copo, H. F. B. (2020). Evidencias del cambio climático en Ecuador. *Revista Científica Agroecosistemas*, 8(1), 72-76.

Álvarez, P. J. G. (2020). Validación de un modelo matemático predictivo de mortalidad por neumonía. *Revista Médica Electrónica*, 42(6), 1-15.

Betancourt-Figueroa, P. J. (2021). El nexo entre la pobreza y la producción petrolera: Un modelo econométrico. *Humania del Sur*, 16(30).

Betancourt-Bethencourt, J. A., Aúcar-López, J., & Cendra-Asencio, M. (2022). Necesidad de superación en modelos matemáticos de epidemiología. *Revista Archivo Médico de Camagüey*, 26.

Bivand, R., Millo, G., & Piras, G. (2021). A review of software for spatial econometrics in R. *Mathematics*, 9(11), 1276.

Borja-Robalino, R., Monleón-Getino, A., & Rodellar, J. (2020). Estandarización de métricas de rendimiento para clasificadores Machine y Deep Learning. *Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação*, (E30), 184-196.

Borysova, T., Monastyrskyi, G., Zielinska, A., & Barczak, M. (2019). Innovation activity development of urban public transport service providers: multifactor economic and mathematical model. *Marketing and Management of Innovations*, 4, 98-109



Cárdenas-Pérez, A., & Echeverría, I. B. (2021). Explicación del crecimiento económico en la Economía Popular y Solidaria mediante la aplicación del modelo econométrico de Regresión Lineal y Múltiple. *Revista Publicando*, 8(28), 74-84..

Castañeda, L. N. R., & Potes, S. P. (2019). Estimación del rendimiento del cultivo de *Passiflora edulis* (Maracuyá) a partir de modelos estadísticos. *Inventum*, 14(26), 33-42.

Cavero, A. L., Sepulveda, S., & Muñoz, L. (2020). Arquitecturas de Big Data para el análisis del Cambio Climático: Mapeo Sistemático de Estudios. *IEEE Latin America Transactions*, 18(10), 1793-1806.

Chalaco, L. F. C., & Vásquez, J. C. (2019). Modelo de probabilidades para el análisis del desempleo en la ciudad de Machala-Ecuador. *INNOVA Research Journal*, 4(3), 23-37

Chamorro, R. A. M., Ccencho, Y. Y. L., & Miranda, M. N. M. (2022). Evaluación de modelos matemáticos para estimar el peso y talla en pacientes adultos usando CRM, RMSE, Pearson y Bland Altman. *Nutrición Clínica y Dietética Hospitalaria*, 42(01).

Delgado, J., Meléndez, J., Andrade, W., & Dumaguala, A. (2019). Incidencia del proceso migratorio venezolano en el mercado laboral ecuatoriano y chileno: Perspectivas desde el escenario econométrico. *Revista Espacios*, 40, 11-22.

Franco, E. F., Calderón, V. V., & Ramos, R. T. (2020). Modelos de predicción del impacto y evolución del COVID-19 en República Dominicana. *Ciencia, Ambiente y Clima*, 3(1), 5-21.

Franco, E. B., & Arjona, M. (2021). Evaluación de dos modelos de predicción del contenido de proteína cruda en harina de soya mediante la técnica nirs. *Revista Investigaciones Agropecuarias*, 3(2), 57-67.

Flores López, H. E., Chávez Durán, Á. A., Ruíz Corral, J. A., Mora Orozco, C. D. L., Figueroa Viramontes, U., & Hernández Anaya, A. (2020). Estimación del factor de transporte del índice de fósforo con climatologías y escenarios de cambio climático en tierras de Jalisco, México. *Revista*



- mexicana de ciencias pecuarias, 11, 75-92.
- Garrido, J. M., Martínez-Rodríguez, D., Rodríguez-Serrano, F., Pérez-Villares, J. M., Ferreiro-Marzal, A., Jiménez-Quintana, M. M., ... & Grupo de Estudio COVID 19
- Granada. (2022). Modelo matemático optimizado para la predicción y planificación de la asistencia sanitaria por la COVID-19. *Medicina Intensiva*, 46(5), 248-258.
- Garrido, J. M., Martínez-Rodríguez, D., Rodríguez-Serrano, F., Pérez-Villares, J. M., Ferreiro-Marzal, A., Jiménez-Quintana, M. M., ... & Grupo de Estudio COVID 19
- Granada. (2022). Modelo matemático optimizado para la predicción y planificación de la asistencia sanitaria por la COVID-19. *Medicina Intensiva*, 46(5), 248-258.
- Gopu, P., Panda, R. R., & Nagwani, N. K. (2021). Time series analysis using ARIMA model for air pollution prediction in Hyderabad city of India. In *Soft Computing and Signal Processing: Proceedings of 3rd ICSCSP 2020*, Volume 1 (pp. 47-56). Springer Singapore.
- Gowthaman, T., Kumar, K. S., Adarsh, V. S., & Bhattacharyya, B. (2022). Trend Analysis and ARIMA Models for Water Quality Parameters of Brahmani River, Odisha, India. *International Journal of Environment and Climate Change*, 12(12), 219-228.
- Gutiérrez, E. D., Puche, R., & Hernández, F. (2020). Estimación de casos de COVID-19 en países de Suramérica empleando modelos ARIMA (Autorregresivo Integrado de Promedio Móvil). *Observador del conocimiento*, 11.
- Guzmán-Morales, A. R., Paz, O. C. L., & Valdés-Carmenate, R. (2019). Efectos de la contaminación por metales pesados en un suelo con uso agrícola. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 28(1).
- Huanacuni, A. Y. A. (2022). Predicción de infectados por Covid-19 en el Perú por el modelo de media móvil integrada autorregresiva. *Ciencia & Desarrollo*, 21(1), 1-9.



- Inca-Balseca, C. L., Paredes-Proaño, A. M., Cornejo-Reyes, P. J., & Mena-Reinoso, Á. P. (2022). Eficiencia de modelos de predicción de COVID-19 usando curvas ROC y matriz de confusión. *Domino de las Ciencias*, 8(2), 1442-1460.
- Iskhakov, F., Rust, J., & Schjerning, B. (2020). Machine learning and structural econometrics: contrasts and synergies. *The Econometrics Journal*, 23(3), S81-S124.
- Jayasinghe, S. L., Ranawana, C. J. K., Liyanage, I. C., & Kaliyadasa, P. E. (2022). Growth and yield estimation of banana through mathematical modelling: A systematic review. *The Journal of Agricultural Science*, 1-58.
- Kim, N., Ha, K. J., Park, N. W., Cho, J., Hong, S., & Lee, Y. W. (2019). A comparison between major artificial intelligence models for crop yield prediction: Case study of the midwestern United States, 2006–2015. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 8(5), 240.
- Laurente Blanco, L. F., & Laurente Quiñonez, F. (2019). Aplicación del modelo ARIMA para la producción de la papa en la región de Puno-Perú. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 6(1), 30-40.
- López-García, M. D. R., Martínez-Damián, M. Á., & Arana-Coronado, J. J. (2022). Predictores del precio de maíz blanco en Jalisco y Michoacán. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 13(2), 261-272.
- Martínez Devia, A. (2019). La Inteligencia Artificial, el Big Data y la Era Digital: Una Amenaza para los Datos Personales. *Rev. Prop. Inmaterial*, 27, 5.
- Martínez-Licerio, K. A., Marroquín-Arreola, J., & Ríos-Bolívar, H. (2019). Precarización laboral y pobreza en México. *Análisis económico*, 34(86), 113-131.
- Matías Ramos, M., Gómez Díaz, J. D., Monterroso Rivas, A. I., Uribe Gómez, M., Villar Hernández, B. D. J., Ruiz García, P., & Asencio, C. (2020). Factores que influyen en la erosión hídrica del suelo en un bosque templado. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 11(59), 51-71.
- Mencía, P. M. (2020). Aplicación de la Econometría en la Evaluación de Políticas



Públicas. e-Publica, (27), 27-37.

Mendoza, J., García, K., Salazar, R., & Vivanco, I. (2019). La Economía de Manabí (Ecuador) entre las sequías y las inundaciones. *Espacios*, 40(16), 10.

Morales, F. M. R., Anaya, M., Iannacone, J., & Romero, L. (2022). Modelos de dispersión de contaminantes atmosféricos: Revisión sistemática. *Revista Campus*, 27(33).

Moreno, E. V., Navarro, R. L., Ayala, J. M., Blas, D. A., Uceda, R. A., Castaneda, J. P., ... & Rubio, O. (2020). Modelo básico epidemiológico SIR para el COVID-19: caso las Regiones del Perú. *Selecciones Matemáticas*, 7(01), 151-161.

Murillo, W. J. J., Pérez, E. M. G., & Murillo, C. A. J. (2022). Aplicación de modelo matemático para la variación de ingresos de productores de arroz. *La Troncal-Cañar. Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(1), 4824-4838.

Ngoune Tandzi, L., & Mutengwa, C. S. (2019). Estimation of maize (*Zea mays* L.) yield per harvest area: Appropriate methods. *Agronomy*, 10(1), 29.

Oré, C. M. S. (2021). Comparativa de los modelos Seed-Idriss y redes neuronales artificiales para la predicción de licuación de suelos. *Journal of Research and Innovation in Civil Engineering*, 1(2), 49-54.

Pabón, S. E., Benítez, R., Sarria, R. A., & Gallo, J. A. (2020). Contaminación del agua por metales pesados, métodos de análisis y tecnologías de remoción. Una revisión. *Entre Ciencia e Ingeniería*, 14(27), 9-18.

Pawul, M. (2019). Application of neural networks to the prediction of gas pollution of air. *New Trends in Production Engineering*, 2(1), 515-523.

Quispe, H. R. S., Guaman, D. E. S., & Pushug, M. I. C. (2020). Evaluación de un sistema de alimentación avícola basado en lógica difusa. *Revista Técnica*, 43(S1), 3-11.

Recalde, C. W. I., Araujo, C. E. R., Londo, N. A. P., & Gavilanez, L. S. F. (2022). Métodos estadísticos predictivos para el análisis de riesgo financiero en proyectos de emprendimiento. *Dominio de las Ciencias*, 8(1), 1154-1168.



- Ravindra, K., Rattan, P., Mor, S., & Aggarwal, A. N. (2019). Generalized additive models: Building evidence of air pollution, climate change and human health. *Environment international*, 132, 104987.
- Reyes-Palomino, S. E., & Cano Ccoa, D. M. (2022). Efectos de la agricultura intensiva y el cambio climático sobre la biodiversidad. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 24(1), 53-64.
- Robles, A. R., Montiel, F. G. G., & Pérez, J. M. (2018). Uso de softwares estadísticos/económicos, como herramientas en la investigación económica y administrativa. *Revista tiempo económico. Tiempo Económico* 12 (38): 49-65
- Rodríguez-Romero, L. A., Gutiérrez-Antonio, C., García-Trejo, J. F., & Feregrino-Pérez, A. A. (2022). Estudio comparativo de modelos matemáticos para predecir el poder calorífico de residuos agrícolas mexicanos. *TecnoLógicas*, 25(53).
- Valderrama, J. O., Campusano, R., & Espindola, C. (2019). Minería chilena: captura, transporte, y almacenamiento de dióxido de carbono en relaves mediante líquidos iónicos y carbonatación mineral. *Información tecnológica*, 30(5), 357-372.
- Vergaray, K. R. (2021). Modelo predictivo para la detección temprana de estudiantes con alto riesgo de deserción académica. *Innovación y software*, 2(2), 6-13.
- Vidal Ledo, M., Guinovart Díaz, R., Baldoquín Rodríguez, W., Valdivia Onega, N. C., & Morales Lezca, W. (2020). Modelos matemáticos para el control epidemiológico. *Educación Médica Superior*, 34(2).
- Wilson, L. R., Cryer, N. C., & Haughey, E. (2019). Simulation of the effect of rainfall on farm-level cocoa yield using a delayed differential equation model. *Scientia horticultrae*, 253, 371-375.
- Xu, J. X., Ma, J., Tang, Y. N., Wu, W. X., Shao, J. H., Wu, W. B., ... & Guo, H. Q. (2020). Estimation of sugarcane yield using a machine learning approach based on uav-lidar data. *Remote Sensing*, 12(17), 2823.



Zhang, Y., Huo, X., & Luo, Y. (2023). Prediction of groundwater pollution diffusion path based on multi-source data fusion. *Frontiers in Environmental Science*, 10, 2667.

Zhou, S., Song, C., Zhang, J., Chang, W., Hou, W., & Yang, L. (2022). A Hybrid Prediction Framework for Water Quality with Integrated W-ARIMA-GRU and LightGBM Methods. *Water*, 14(9), 1322.