

Machine Learning como Herramienta para Determinar la Variación de los Recursos Hídricos

Machine Learning as a Tool to Determine the Variation of Water Resources

Wilber Samuel Vargas-Crispin

Universidad Nacional de Huancavelica, Huancavelica, Perú

E-mail: wilber.vargas1@unh.edu.pe ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9904-6516>

Edwin Montes-Raymundo

Universidad Nacional de Huancavelica, Huancavelica, Perú

E-mail: edwin.montes@epgunh.edu.pe ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3824-4396>

Manuel Castrejón-Valdez

Universidad Nacional de Huancavelica, Huancavelica, Perú

E-mail: castrejon_17@hotmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4535-3278>

René Antonio Hinojosa-Benavides

Universidad Nacional Autónoma de Huanta, Perú

E-mail: rhinojosa@unah.edu.pe ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0452-3162>

Recepción: 10/06/2021 Aceptación: 30/06/2021 Publicación: 30/07/2021

Resumen

Actualmente la inteligencia artificial es una disciplina científica que se ha venido aplicando desde inicios del presente siglo, especialmente en la gestión de recursos hídricos para mitigar el acentuado cambio climático mediante la interpretación de imágenes satelitales, monitorear y predecir la variación de cubierta vegetal, aparición o desaparición de acuíferos y lagos, variación de los volúmenes de escorrentía generadas en ríos, entre otros. De esta forma, la presente investigación busca mostrar la eficiencia del Machine Learning en el manejo de recursos hídricos. Se realizó mediante la revisión sistemática de base de datos científicas como SciELO, ScienceDirect, Redalyc, Scopus, Web of Science sobre contenidos de Inteligencia artificial aplicados a recursos hídricos. Como resultado se obtuvo que el Machine Learning optimiza los sistemas de alerta temprana, mapeo y teledetección. Concluyendo, que es un método de análisis de datos muy eficiente para la interpretación y modelado de información hidrometeorológica, especialmente al aplicarlo en cuencas hidrográficas.

Scientific Research Journal

Centro de Investigación y Desarrollo Intelectual CIDI

E-ISSN: 2789-2727/ Núm. 1 Vol. 1, 56-69, Julio 2021 / www.srjournalcidi.org/

<https://doi.org/10.53942/srjicidi.v1i1.46>

Palabras Clave

Machine learning, hídricos, inteligencia artificial.

Abstract

Currently, artificial intelligence is a scientific discipline that has been applied since the beginning of this century, especially in the management of water resources to mitigate the accentuated climate change through the interpretation of satellite images, monitor and predict the variation of vegetation cover, appearance or disappearance of aquifers and lakes, variation in runoff volumes generated in rivers, among others. In this way, this research seeks to show the efficiency of Machine Learning in the management of water resources. It was carried out through the systematic review of scientific databases such as SciELO, ScienceDirect, Redalyc, Scopus, Web of Science on artificial intelligence content applied to water resources. As a result, it was obtained that Machine Learning optimizes early warning, mapping and remote sensing systems. Concluding, that it is a very efficient data analysis method for the interpretation and modeling of hydrometeorological information, especially when applied in hydrographic basins.

Keywords

Machine learning, water, artificial intelligence.

Resumo

Atualmente, a inteligência artificial é uma disciplina científica que vem sendo aplicada desde o início deste século, principalmente na gestão dos recursos hídricos para mitigar as mudanças climáticas acentuadas através da interpretação de imagens de satélite, monitorar e prever a variação da cobertura vegetal, aparência ou desaparecimento de aquíferos e lagos, variação dos volumes de escoamento gerado nos rios, entre outros. Desta forma, esta pesquisa busca mostrar a eficiência do Aprendizado de Máquina na gestão de recursos hídricos. Foi realizada por meio da revisão sistemática de bases de dados científicas como SciELO, ScienceDirect, Redalyc, Scopus, Web of Science sobre conteúdo de inteligência artificial aplicada a recursos hídricos. Como resultado, obteve-se que o Aprendizado de Máquina otimiza os sistemas de alerta precoce, mapeamento e sensoriamento remoto. Concluindo, é um método de análise de dados muito eficiente para interpretação e modelagem de informações hidrometeorológicas, principalmente quando aplicado em bacias hidrográficas.

Palavras-chave

Machine learning, recursos hídricos, inteligencia artificial.

1. Introducción

La técnica de Machine Learning (ML) o el aprendizaje de maquina ha llegado a trascender en la interpretación, modelado y manejo de información, pasando por fases como la definición del objeto, recolección de información, preprocesamiento de data, elección del algoritmo, entrenamiento del modelo y finalmente la predicción y estimación de parámetros, con esto lo que se logra es crear un modelo capaz de realizar el manejo, interpretación y predicción con la información recolectada emulando lo que un profesional y técnico altamente capacitado en este caso en lo que es la hidrología pueda concluir y aseverar, por lo cual se busca mostrar la eficiencia del ML en el manejo de los recursos hídricos, según lo detalla Marín y Pineda(2019), su modelo pronostica en base a registros y lecturas hidro-meteorológicas, empleando una red neuronal relacionada siguiendo las fases del ML, para modelar la data en una determinada serie de tiempo, siendo esta una innovación en el campo de la hidrología, trabajada de forma muy efectiva estimando la escorrentía de forma ideal, concluyendo que este modelo es de gran importancia al anticipar y apoyar la toma de decisiones para un sistema de alerta temprana. Según lo menciona Starzyk (2010), el ML da lugar a un sistema de aprendizaje automático que puede apoyar en la supervisión y optimización del rendimiento del sistema, al tiempo que elige una acción para abordar los problemas más urgentes de entre los muchos que pueden abordar eficientemente.

El Machine Learning se está involucrando en la gestión de recursos hídricos que permite mitigar el cambio climático mediante la interpretación de imágenes satelitales, monitorización y predicción la variación de cubierta vegetal, aparición o desaparición de acuíferos y lagos, variación de los volúmenes de escorrentía generadas en ríos, entre otros. De esta forma, la presente investigación busca mostrar la eficiencia del Machine Learning en el manejo de recursos hídricos.

2. Inteligencia artificial y recursos hídricos

Scientific Research Journal

Centro de Investigación y Desarrollo Intelectual CIDI

E-ISSN: 2789-2727/ Núm. 1 Vol. 1, 56-69, Julio 2021 / www.srjournalcidi.org/

<https://doi.org/10.53942/srjicidi.v1i1.46>

2.1 inteligencia artificial

Antes de entrar en la concepción de lo que es la IA, debemos entender que el ser humano desde los albores de la humanidad ha tenido una concepción abstracta del funcionamiento de los entes que nos rodean y de igual manera según menciona Oliver(2020) los primeros autómatas–robots antropomórficos que imitaban movimientos humanos fueron elaborados hace milenios, es por eso que el ser humano siempre ha tenido curiosidad por explicar y entender la mente humana para, entre otros motivos, construir una mente artificial.

Ya entrando en cuenta que la IA ha venido siendo una expresión de imitar la funcionalidad de nuestra inteligencia podemos entender de esta definición de acuerdo a Rouhiainen (2018) la concepción sobre lo que es la I.A. es complicada de abordar y tiene varias acepciones como, la habilidad que tienen los computadores para realizar diferentes actividades las que habitualmente necesitan de la inteligencia humana, donde también se toma como definición que la I.A. es la capacidad que tienen las máquinas para usar los algoritmos, realizar el aprendizaje de datos y emplear lo aprendido en distintas tomas de decisiones tal y como lo haría una persona, la ventaja respecto a las personas es que las computadoras no necesitan descansar y tienes la capacidad de seguir analizando grandes volúmenes de información en simultaneo.

2.1.1 Clasificación: A lo largo de las últimas décadas ha habido un auge en la comprensión y desarrollo del concepto de IA, según Ponce et al. (2014) mencionan que existen dos tipos de enfoques, el primero es el enfoque simbólico el que se basa en un numero finito de reglas para la manipulación de símbolos, y el otro es el enfoque sub-simbólico que se basa en crear sistemas con capacidad de aprendizaje, el cual vio expresiones como las redes neuronales (RN) y los algoritmos genéticos (AG), en los últimos años existen otras nuevas técnicas y ramas que emplean el enfoque sub - simbólico.

2.1.2 Aplicaciones: La aparición de la IA ha brindado una amplia variedad de aplicaciones según mencionan Ponce et al. (2014) que desde el inicio, las IA han pasado por diferentes fases, desde fases de gran motivación y abundancia para las investigaciones de turno, y otras de poca relevancia por sus resultados y como en todo cuando se cierra una puerta se abren muchas ventanas, las aplicaciones más exitosas se han efectuado en el área del lenguaje como el programa “Eliza” desarrollado por el profesor Joseph Weizenbaum del Instituto de tecnología de Massachusetts(MIT por sus siglas en ingles) en los años 1964 y 1966, este programa tenía la capacidad de mantener una conversación de texto coherente con un ser humano, el cual emulaba al psicólogo Carl Rogers quien participaba en la terapia centrada en persona.

2.1.3 Machine Learning: El significado directo a este término y traducido del inglés al español tiene las siguientes connotaciones: aprendizaje automático, aprendizaje automatizado o aprendizaje de máquinas, según menciona Godoy (2019) el Machine Learning (ML) como termino no fue propuesto por un solo autor, sino es un término propuesto años después de la investigación con la IA.

El Machine Learning técnica ha visto su aplicación en numerosos campos de las ciencias, dotando de importantes soluciones a problemas desde los más básicos a los más complejos, según menciona Godoy (2014) la IA dio lugar a diferentes formas de ML los cuales divergen de acuerdo con su propósito, el ML como tal fue empleado inicialmente para la minería de texto con el objetivo de obtener información de colecciones documentales.

De la literatura encontrada resulta interesante lo referido por García (2014) que menciona que normalmente los especialistas en ML proponen que, en la elaboración de los modelos, se deben de dividir en subgrupos para el adiestramiento, validación y funcionamiento. Con toda esta data separada para el subgrupo de adiestramiento y prueba donde se elige el modelo con el mínimo error calculado y el grupo de data se empleará para encontrar el modelo más eficiente.

2.2 Recursos hídricos

Los recursos hídricos confieren una definición basta que agrupa las distintas fuentes de agua y recursos relacionados a esta, los cuales se definen como como las reservas de agua con las cuales se cuenta en el mundo, contamos en esta a las lagunas, lagos, torrentes, ríos, acuíferos y océanos, estos recursos deben preservarse y utilizarse de forma racional ya que son indispensables para la existencia de la vida. Los recursos hídricos por hoy vienen a ser un bien valioso y escaso en el mundo como lo menciona Blanco (2015), el déficit y el excedente de recursos provenientes de la naturaleza son fuente habitual de pugnas y alianzas, en lo que respecta al líquido elemento de vida su apreciación es redoblada, por sus cualidades dotaras de vida y base para las distintas actividades humanas de subsistencia como la generación de energía, la agricultura, la ganadería y la industria, se sabe además que la demanda de este recurso viene creciendo en el mundo debido a la explosión demográfica, crecimiento urbano, crecimiento industrial, y el respectivo acrecentamiento de consumo del agua, sin embargo ya se conoce que no existe la cantidad necesaria de agua para satisfacer las demandas recurrentes. Este problema se pronostica como una crisis hídrica por el déficit alcanzado, el agua ya no es de fácil acceso y no está siempre aprovechable cuando se requiera condicionado por los factores climáticos cada vez más inusuales.

2.2.1 Fuentes de agua:

2.2.1.1 Acuíferos

Dentro de las distintas fuentes de agua que podemos encontrar se encuentran los denominados acuíferos que son formaciones que tienen y transmiten agua desde las capas subterráneas del suelo, los cuales pueden ser de tipo confinados y no confinados.

2.2.1.2 Ríos

Los ríos son corrientes de agua que fluyen por los cauces el mismo que se encuentra inmerso dentro de un valle, este tiene una gran importancia geográfica protagónica,

es también sabido que sirven de límite entre jurisdicciones, vías de comunicación y barrera silvestre.

2.2.1.3 Lagos

Los lagos vienen a ser una expresión más de los recursos hídricos y las fuentes de agua de acuerdo con Bateman (2007) estos son cuerpos de agua natural que preservan el equilibrio biológico en la naturaleza, los fenómenos asociados en los lagos son complejos y necesitan para su estudio de un grupo interdisciplinario, incluyen la biología, limnología, hidrología, hidráulica, sedimentología y termodinámica.

2.2.2 Ciclo Hidrológico: Es la relación entre distintas variables dentro de un proceso que está relacionado a los fenómenos que influyen en la circulación del agua como de la variación de esta en sus propiedades físicas, químicas y biológicas por distintos espacios.

2.2.2.1 Balance hídrico

El balance hídrico viene a ser una comparación cuantificada de los recursos hídricos respecto a la oferta y demanda, según refiere Diaz (2005) el balance hídrico es un instrumento que nos ayuda a representar las propiedades de una cuenca por el uso del principio de las leyes de conservación de continuidad y masa.

2.2.2.2 Cuenca Hidrográfica

Bateman (2007), menciona que la cuenca es el componente hidrológico más empleado y no guarda relación con la hidrogeología, siendo esta un área de espacio que tiene la capacidad de aislar la geometría que permita la escorrentía del agua por ese espacio.

2.2.3 Climatología:

2.2.3.1 Fuentes y registros pluviométricos.

Para el análisis hidrológico se requieren de bastas cantidades de información registrada, de tal manera que los proyectos hidrológicos necesitan de una considerable cuantía de información, la que se caracteriza de distinta manera de acuerdo al fin y relevancia que se requiera.

2.2.3.2 Fuentes y registros satelitales.

En los últimos años se viene dando un auge en el manejo de información satelital agrupados dentro de los sistemas de información geográfica (SIG) para propósitos de hidrología, geología o incluso la hidrogeología, según Cano et al. (2014) menciona que los procedimientos para medir la cantidad de efectos producidos por las actividades humanas, han dado lugar al cambio en la compactación de los suelos, lo cual ha dado lugar al aminoramiento de la filtración, descenso en la regulación de los acuíferos y acrecentamiento de la escorrentía superficial. El método de número de curva (CN) es uno de los más manejados, método que ha servido de sustento para softwares de modelamiento como L_THIA, HEC-HMS y SWAT, el CN se basa en el tipo de suelo y la morfología del terreno que es altamente eficiente realizado con ayuda de la teledetección y los SIG.

Aylén (2011) menciona que actualmente se cuenta con numerosos satélites que monitorean la tierra los cuales están equipados de varios sensores que permiten adquirir información, debido a que estos constantemente se movilizan en orbitas, adquiriendo la información en forma de píxeles.

2.2.4 El Machine Learning en los recursos hídricos: Diversos autores en Perú lograron implementar con éxito un modelo basado en la rama de ML como Marín y Pineda (2019) que propuso un modelo para anticipar y apoyar la toma de decisiones para un Sistema de alerta temprana, también Luque (2018) logró con éxito la conformación del modelo capaz de identificar y asimilar características de series temporales históricas al cual denominó MEESN empleado para la generación de caudales del Río Chili en Arequipa, Otros autores en el mundo han podido con éxito realizar pronósticos basados en la IA y ML según comenta Rozos (2019) la investigación realizada evaluó los beneficios potenciales de la aplicación de un algoritmo de ML en la gestión de un suministro de agua, gracias al entrenamiento de una red neuronal de avance (FFN por sus siglas en inglés), que simula y optimiza el funcionamiento de una red de agua.

Essenfelder y Giupponi (2020), en Venecia, Italia lograron con éxito simular el proceso de toma de decisiones basados en las técnicas de modelación hidrológica y el machine

learning apoyado en el modelo SWAT para el componente mecanístico y para el empírico un modelo de Redes Neuronales Artificiales(RNA).

Ay y Ozyildirim (2018) analizaron distintas técnicas de IA en el uso y modelación de variables como lluvia-escorrentía, evaporación y evapotranspiración, caudal, sedimentos y variables de calidad del agua y cambios en el nivel del agua en las presas y lagos, determinado al final la eficiencia bursátil cercana a las salidas reales de los sistemas planteados y la facilidad de calibración del modelo aumentan el uso de estos métodos.

Del mismo modo, Faraj (2018) concuerda que los recursos hídricos son una de las fuentes indispensables de la vida en la Tierra, esto debido al crecimiento de la población y la sobreexplotación, al final de su trabajo este pudo confirmar la eficacia de dos tipos de IA, mostrando eficacia como la red neuronal artificial y la de vectores de apoyo tienen un mayor potencial en la estimación y predicción de parámetros desconocidos utilizando un cierto número de parámetros.

Según menciona Maxwell et al. (2018), el ML ha podido demostrar un eficiente rendimiento de clasificación por teledetección en comparación con otras técnicas paramétricas, los métodos de ML no se emplean tan ampliamente como se podría esperar, debido a que no se cuenta con la disponibilidad de métodos de ML en software de teledetección, mientras que Sagan et al. (2020) comentan que los métodos de ML proporcionaron la mejor precisión global para casi todos los casos de estudio, mostrando resultados que indican que los métodos empíricos y los métodos de ML superaron a las técnicas de inversión bio- óptica. Otras de las acepciones interesantes del ML en los recursos hídricos y naturales es el empleo en la optimización y mejora de la producción como lo detalla Weber et al. (2019) donde menciona que su trabajo permitió optimizar la identificación de sistemas, mapeo de comportamiento en base a los datos de entrada y salida, lo cual optimizó el gasto y consumo energético de los recursos, sistemas y de la maquina empleada.

3. Materiales y métodos

Esta sección desarrollo lo respectivo a la ilustración necesaria para poder entender y conceptualizar sobre la importancia de las técnicas de inteligencia artificial haciendo énfasis en lo que es el ML empleándose la base de datos SciELO, ScienceDirect, Redalyc, Scopus, Web of Science, realizando la búsqueda con términos como “Inteligencia artificial”, “Machine Learning”, “Recursos hídricos”, “Wáter resources”, “Cambio climático”, “Programación”, “ML with python”, de la misma forma se empleó la revisión minuciosa de artículos científicos publicados en las siguientes revistas como son: Bosque, Revista de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo, Environmental Modelling and Software, Natural and Engineering Sciences, Revista peruana de Medicina Experimental y Salud Publica, sumado a esto fue necesario apoyarme en el repositorio de Tesis de las Universidades nacionales como son: La Universidad Agraria la Molina, Universidad Tecnológica del Perú y la Universidad Nacional San Agustín de Arequipa.

4. Resultados

Se pudo realizar la revisión detallada de las investigaciones que han precedido y han brindado excelentes resultados en la implementación del ML; según Sagan et al. (2020) han demostrado ser más eficientes en comparación con otros métodos empleados, de acuerdo a lo revisado Marín y Pineda (2019) y Luque (2018) han logrado implementar modelos eficientes para el tratamiento de información hidro-meteorológica para distintos propósitos como la generación de caudal y un sistema de alerta temprana.

Entre otras potencialidades encontradas fue que tanto Cano et al. (2014) y Essenfelder y Giupponi (2020) lograron realizar la validación e interacción del ML con distintos software's enfocados en hidrología. Otro de los logros potentes de la aplicación del ML según menciona Maxwell et al. (2018) y Weber et al. (2019), comentan los buenos resultados del software en mapeo y teledetección.

5. Discusión

Zamorano (2018) argumenta que la humanidad vive rodeada de la generación de gran cantidad de datos, pero no somos capaces de procesar por nosotros mismos muchos de ellos, y es por ello que nos vemos en la necesidad de buscar herramientas que nos permitan almacenar, procesar y extraer la información que, tratada y evaluada según nuestras necesidades, nos de la capacidad de obtener el beneficio necesario para un objetivo concreto, por lo que para el tratamiento de esta información podemos enfocarnos en la rama de la inteligencia artificial denominada “Machine Learning” o aprendizaje automático que permite a las máquinas aprender y tomar decisiones con futuros datos proporcionados de forma automática; en concordancia con Sagan et al. (2020) quienes aseveran que los métodos de ML proporcionan la mejor precisión global para casi todos los casos de estudio.

6. Conclusiones

El machine Learning ha logrado con éxito plantear modelos hidrometeorológicos y en algunos casos modelos relacionados a la optimización de recursos, maquinarias y procesos los cuales empíricamente y mecanizadamente requieren de más tiempo y mayor inversión, y que con el trabajo en simultaneo brindado por un computador y estos modelos basados en ML representan un ahorro sustancial en tiempo y medios económicos siendo esta la pauta para una nueva revolución orientada a la inteligencia artificial y sus aplicaciones.

7. Referencias

- Ay M. y Ozyildirim S. (2018). Artificial Intelligence (AI) Studies in Water Resources. *Natural and Engineering Sciences*, 3(2),187-195.
- Aylén, E. (2011). *Planificación de imágenes satelitales aplicada a modelos hidrológicos de alerta temprana*. [Tesis de Magister en aplicaciones espaciales de alerta y respuesta temprana a emergencias, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina]
<https://n9.cl/gdxk1>

- Bateman, A. (2007). Hidrología básica y aplicada. *Grupo de investigación y transporte de sedimentos*.
- Blanco, F. (2015). Los recursos hídricos en el mundo: cuantificación y distribución. Cuadernos de estrategia, ISSN 1697-6924, N°. 186, 2017. págs. 21-70
- Cano, César, Andreoli, Andrea, Arumi, José Luis, & Rivera, Diego. (2014). Uso de imágenes de satélite para evaluar los efectos de cambio de cobertura de suelo en la escorrentía directa de una cuenca andina. *Tecnología y ciencias del agua*, 5(4), 145-151. 06 de agosto de 2021, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222014000400009&lng=es&tlng=es.
- Díaz, C., Steller, M., & López, F. (2005). Recursos Hídricos. Conceptos básicos y estudios de caso en Iberoamérica. *Toluca-México: Piriguazu ediciones. Centro Interamericano de recursos del agua*.
- Essenfelder, A. y Giupponi C. (2020). A coupled hydrologic-machine learning modelling framework to support hydrologic modelling in river basins under Interbasin Water Transfer regimes. *Environmental Modelling and Software*.131(104779),1-10.
- Faraj, F. y Shen H. (2018). Forecasting the Environmental Parameters of Water Resources Using Machine Learning Methods. *Annals of Advanced Agricultural Sciences*, 2(4),74-80.
- García, G. (2014). Modelo de Machine Learning para la Clasificación de pacientes en términos del nivel asistencial requerido en una urgencia pediátrica con Área de Cuidados Mínimos. [Tesis de grado para optar el título de Magister en Ingeniería en sistemas y computación, Universidad Tecnológica de Bolívar, Cartagena, Colombia] <https://n9.cl/emjzy>
- Godoy A. (2019). Aplicación de 'Aprendizaje Profundo' para el pronóstico de precipitación a partir de datos de reflectividad de radar meteorológico [Trabajo de titulación de Ingeniero de Sistemas, Universidad de Cuenca, Ecuador] <https://n9.cl/p6rx6>

- Godoy A. (2014). Técnicas de aprendizaje de máquina utilizadas para la minería de texto. *BIBLIOTECOLÓGICA*, 31(71), 103-126.
- Luque, E. (2018). Modelo estocástico basado en redes neuronales no tradicionales aplicada a la generación de caudales mensuales caso: cuenca del río chili, Arequipa. [Tesis profesional de Ingeniería de sistemas, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Perú] <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/6091>
- Marín, G. y Pineda I. (2019). Modelo predictivo Machine Learning aplicado a análisis de datos Hidrometeorológicos para un SAT en Represas. [Tesis de Ingeniero de Sistemas e informática, Universidad Tecnológica del Perú, Arequipa, Perú] <https://acortar.link/kEU92O>
- Maxwell A., Warner, T. y Fang, F. (2018). Implementation of machine-learning classification in remote sensing: an applied review. *International Journal of Remote Sensing*, 39(9), 2784-2817. <https://doi.org/10.1080/01431161.2018.1433343>
- Oliver, N. (2020). Inteligencia Artificial, Un manual de convivencia entre humanos y máquinas para que la tecnología nos beneficie a todos. *Ministerio de asuntos económicos y transformación digital*.
- Ponce, J., Torres, A., Quezada, F., Silva, A., Martínez, E., Casali, A. Scheihing, E., Túpac, Y., Torres, D., Ornelas, F., Hernández, J., Zavala, C., Vakhnia, N y Pedreño, O. (2014). Inteligencia Artificial. 1a ed. - *Iniciativa Latinoamericana de Libros de Texto Abiertos (LATIn)*.
- Rouhiainen, L. (2018). Inteligencia Artificial 101 cosas que debes saber hoy sobre nuestro futuro. *Alienta Editorial*.
- Rozos, E. (2019). Machine Learning UrbanWater Resources Management and Operating Policy. *Resources*, 8(173). <https://doi.org/10.3390/resources8040173>
- Sagan, V., Peterson, K., Maimaitijiang, M., Sidike, P., Sloan, J., Greeling, B., Maalouf, S., Adams, C. (2020). Monitoring inland water quality using remote sensing: potential and limitations of spectral indices, bio-optical simulations, Machine learning and

cloud computing. *Earth-Science Reviews*, 205(103187).

<https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2020.103187>

Starzyk O. (2010). Water Resource Planning and Management using Motivated Machine Learning. *Hydrocomplexity: New Tools for Solving Wicked Water Problems Kovacs Colloquium*, 338, 214-220.

Weber, T., Sossenheimer, J., Schafer, S., Otta, M., Walther, J. y Abele, E. (2019). Machine Learning based System Identification Tool for data-based energy and Resource Modeling and Simulation. *Procedia CIRP*, 80, 683-688.

Zamorano, J. (2018). Comparativa y análisis de algoritmos de aprendizaje automático para la predicción del tipo predominante de cubierta arbórea. [Trabajo Fin de Máster en Ingeniería de Computadores, Universidad Complutense de Madrid, España]

<https://n9.cl/aw43r>