

La Hidrogeología: de su desconocimiento como ciencia a la inteligencia artificial

Dr. Juan José Durán Valsero

Profesor de investigación del IGME-CSIC

Vocal del Club del Agua Subterránea

Académico correspondiente de la Academia Malagueña de Ciencias

Premios Manantial 2024





Adobe Firefly

La época precientífica de la “Hidrogeología”

San Isidro Labrador (c. 1082-30 de noviembre de 1172), nació en el Mayrit musulmán y fue un labrador mozárabe. Fue un santo zahorí, pocero, taumatúrgico y hacedor de lluvias.

Era conocido **por llegar tarde al trabajo** y ser reprendido habitualmente por ello.



P. ATHANASIVS KIRCHER'S PVLIENSIS
& Societ. Iesu. Anno aetatis LIII.
Bonnae et Altona, apud J. B. Schönerm. 1701. 8vo. 2. 1/2.



Hidrofilacios: los primeros “acuíferos”



Athanasius Kircher fue un sacerdote jesuita y uno de los científicos más importantes de la época barroca. Nació el 2 de mayo de 1602, en Geisa, Alemania y falleció el 27 de noviembre de 1680, en Roma, Italia. Escribió el tratado *Mundus subterraneus*, publicado en 1678.



San Isidro, el primer “hidrogeólogo”

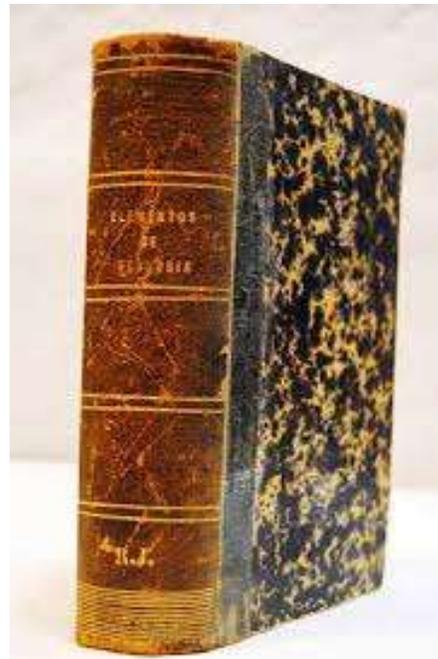
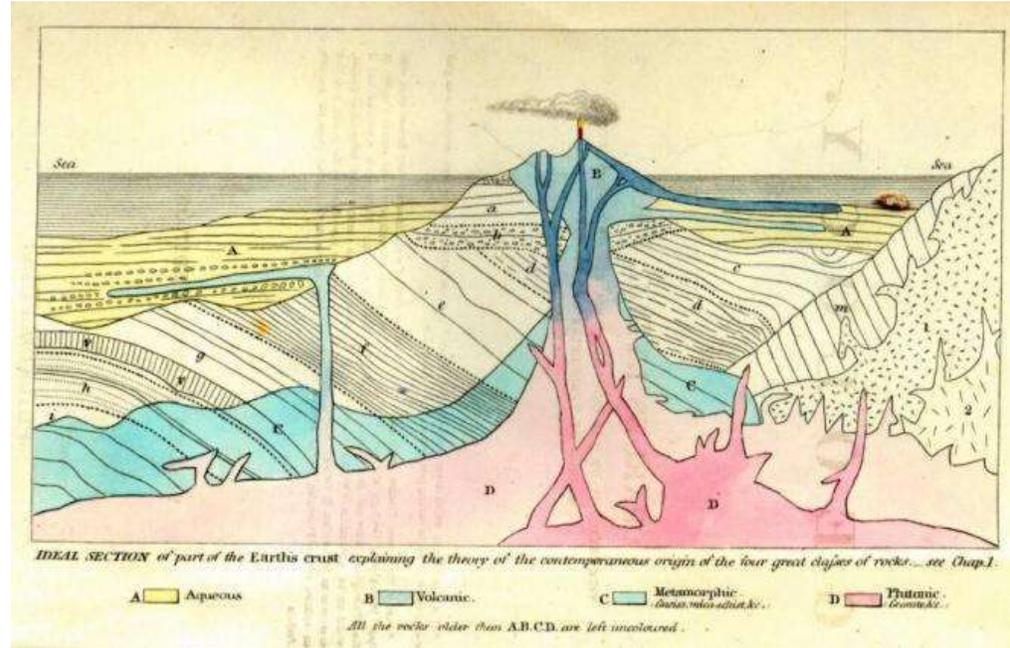
Principles of Geology (Principios de Geología), cuyo primer tomo se publicó en 1830, en 1831 se publicó el segundo y en 1833 el tercero y último tomo

La Geología como Ciencia: hacia una arquitectura del subsuelo

Charles Lyell

Nacimiento: 14 de noviembre de 1797, Angus (Escocia, Reino de Gran Bretaña)

Fallecimiento: 22 de febrero de 1875, Londres (Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda)



En 1838 publicó un nuevo libro, *Elements of Geology* (Elementos de Geología)

Junto con el físico Michael Faraday investigó la prevención de los accidentes mineros

Henry Philibert Gaspard Darcy (Dijon, Francia, 10 de junio de 1803-París, 2 de enero de 1858), más conocido como Darcy, fue un hidrúlico francés. Graduado como ingeniero de Puentes y Caminos es uno de los pioneros en el abastecimiento de agua potable de las ciudades y en las bases de la hidráulica.

Entre 1834 y 1840 se ocupó directamente, por encargo de la municipalidad de Dijon, del diseño y construcción del sistema de abastecimiento de agua potable de la ciudad, construyendo una línea de aducción subterránea de 12 km de longitud concebida por él. En 1847, el agua entubada llega a todos los pisos de todos los edificios de Dijon, transformando así esta ciudad en la segunda ciudad europea en lo que se refiere a abastecimiento moderno de agua, después de Roma.

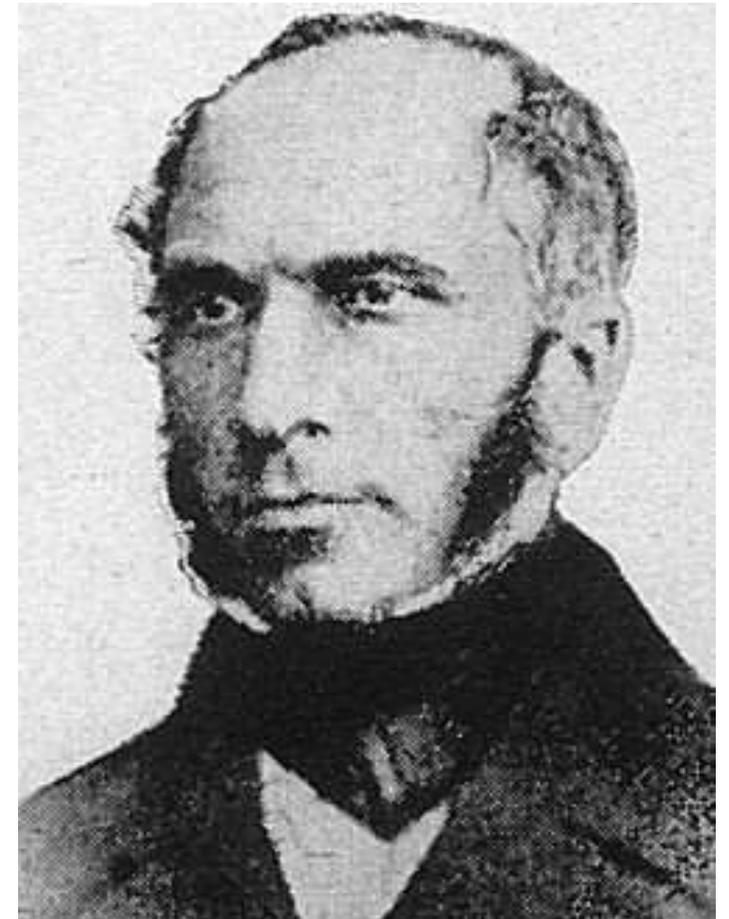
En 1856, publicó un tratado sobre las fuentes públicas de Dijon, en el cual aparece la fórmula o ley que, desde entonces, lleva su nombre.

En 1857 publicó otro tratado relacionado con sus investigaciones experimentales sobre el movimiento del agua en tuberías.



La ley de Darcy

$$Q = k \frac{h_3 - h_4}{L} A = k \cdot i \cdot A$$



HENRY DARCY. 1856. *Les fontaines publiques de la ville de Dijon*, París

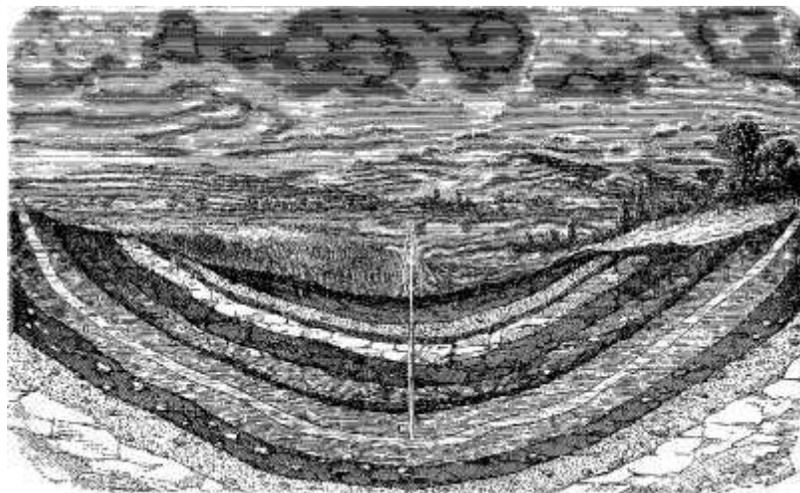
Las bases de la hidráulica subterránea

Los pozos artesianos

En 1126, en Artois se perforó el pozo artesiano más antiguo de Europa, por unos monjes, marcando el inicio de la exploración y el aprovechamiento de las aguas subterráneas profundas

1830, gran número de pozos artesianos en la cuenca de París

Siglo XIX, segunda mitad, y principios del XX generalización de los pozos artesianos en Europa



POZO ARTESIANO



Los pozos artesianos de El Pardo de principios del siglo XX



REAL PATRIMONIO DE EL PARDO
Maquinaria para perforaciones artesianas



Un impulso oficial a la Hidrogeología científica en España: el Real Decreto de 1905, del Ministerio de Agricultura, Industria, Comercio y Obras Públicas



“Uno de los detonantes fundamentales de los trabajos de investigación hidrogeológica en este periodo fue el Real Decreto de 15 de julio de 1905 (Gaceta de Madrid, n.º 205, de 24.07.1905) **mediante el cual se encomendó a la Comisión del Mapa Geológico el estudio de cada una de las cuencas hidrológicas donde fuera «probable la existencia de corrientes subterráneas» que pudieran «alumbrarse por medio de sondeos, pozos o galerías».** Se convierte así al Instituto Geológico y Minero de España (IGME) en uno de los grandes protagonistas de la investigación hidrogeológica española. Efectivamente, el Decreto de 1905, corto y preciso, promulgado a raíz de una situación de sequía, contenía instrucciones claras sobre cómo llevar a cabo los estudios hidrogeológicos, desde la utilización de la geología como base previa para los trabajos hasta las encuestas o cuestionarios de campo que se debían realizar, y equiparaba algunos aspectos de la gestión del agua subterránea a la de otros recursos mineros. La primera reacción interna al Decreto fue dedicar a muchos de los ingenieros de la Comisión, algunos de ellos totalmente ajenos hasta el momento a la práctica hidrogeológica, a estos trabajos, reconvirtiéndose con gran rapidez al estudio de los acuíferos y de las aguas subterráneas. Aparecen con frecuencia en los estudios publicados autores como Dupuy, Gavala, Rubio, Bentabol, Sánchez Lozano y Vidal, entre otros. Incluso el gran Mallada dedicó una parte de sus labores al estudio de las aguas subterráneas en Madrid, publicando una corta nota titulada «Aguas y pozos de los barrios bajos de Madrid», 1906).”

Durán y Morales (2024). LA HIDROGEOLOGÍA DURANTE EL PRIMER TERCIO DEL SIGLO XX. En: Instituto Geológico y Minero de España: 175 años / Isabel Rábano y Ángel Salazar (eds.). Madrid, CSIC.

Decretado por el ministro de Agricultura, Industria, Comercio y Obras Públicas, Alvaro Figueroa (Conde de Romanones), el mismo que el 3 de abril de 1919 firmaría el llamado «Decreto de la jornada de ocho horas», por el cual se introducía de forma oficial la jornada laboral de ocho horas, una reivindicación histórica de los trabajadores.

El gran proyecto hidrogeológico de los años 60-70: FAO-Guadalquivir

... se emplearon las más modernas técnicas de investigación hidrogeológica, incluyendo la geofísica en gran escala, los modelos matemáticos, los análisis isotópicos, los balances hídricos combinados de aguas superficiales y subterráneas, experiencias de recarga artificial de acuíferos, y estudios económicos de desarrollo hídrico...

“El IGME, por su carácter de núcleo de investigación, tenía acceso a un número de publicaciones extranjeras, con las cuales mantenía, bien intercambio de revistas y monografías, bien suscripciones. Entre ellas, las importantes Series Hidrogeológicas (“Papers”) del Geological Survey y otras más especializadas como las “Transactions of America Geophysical Union” (TAGU). Estas publicaciones incluyeron los primeros trabajos de evaluación de recursos hídricos, las primeras ecuaciones para interpretación de ensayos de bombeo, las primeras redes de piezómetros para control de acuíferos, así como pioneros trabajos de geofísica aplicada a la prospección de acuíferos, y el uso de las primeras fotografías aéreas. Todo ello permitió, que alrededor de los años cincuenta tuviese el IGME una plantilla de 17 Homenaje a Manuel del Valle Cardenete hidrogeólogos bien preparada para la aplicación real en el campo de las novedosas tecnologías. Por esas fechas, mediado el siglo XX, se encontraba España en un nivel de desarrollo intermedio, entre las naciones ya desarrolladas (EEUU, Alemania, U.K., Francia, etc..) y todo el paquete que se llamaba “en vías de desarrollo”. Esto quería decir que todavía estaba España entre las naciones que se beneficiaban de la asistencia técnica de las Naciones Unidas para Proyectos de Desarrollo (Programa del UNDP, o PNUD, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. Naturalmente, conforme pasaban los años, las cantidades dedicadas a proyectos en España iban disminuyendo, al ritmo que nuestro país iba mejorando su desarrollo. Cerca ya del momento en que dejamos de recibir Fondos de Naciones Unidas para el Desarrollo, tuvo España un ingeniero (Sr. Aubarede), representante en la FAO (Food and Agricultural Organization) que conocía bien, tanto al IGME, como al Departamento de Land and Water de ese organismo internacional. Por entonces, el director de Land and Water era el Sr. Sauma, libanés muy interesado en los problemas del agua (fue posteriormente Director de la FAO), y dirigía el IGME el ingeniero Sr. Almela, también muy relacionado con problemas de agua subterránea.

Se recibieron en el IGME noticias de que la FAO tenía todavía un remanente de fondos sin asignar para programas de desarrollo, y que con agrado si se le podía presentar por parte de España un programa interesante en el campo de las aguas subterráneas. La ocasión no era de desperdiciar, de modo que el IGME dedicó un grupo de técnicos a estudiar lo que podía proponerse a la FAO. Con buen criterio, se seleccionaron dos posibles zonas de estudio, que podían presentar para la FAO el aliciente de tratarse de regiones relativamente pobres dentro del conjunto español, y por tanto más necesitadas de ese tipo de ayuda. Tenía interés el IGME, y el Ministerio de Industria, del cual dependía entonces, de aplicar las nuevas tecnologías en la prospección y desarrollo hidrogeológico en una escala amplia, a nivel regional, para lo que se necesitaría una considerable inyección de fondos que por entonces no estaba localmente disponible. Los primeros documentos, que se prepararon en español y en inglés, proponían como zonas de estudio, bien aéreas notables de la Cuenca del Duero, bien otras similares en la Cuenca del Guadalquivir. Tras unos meses de conversaciones preliminares, la FAO envió una comisión de técnicos expertos para revisar sobre el terreno las posibles zonas de actuación y para evaluar las capacidades de apoyo y de nivel técnico de la contrapartida española. Todo ello tomó algunos meses más, hasta que al fin la balanza se decantó por la Cuenca del Guadalquivir.

El documento de proyecto se fue perfilando a lo largo de 1965. Se convino en realizar un reconocimiento general de toda la Cuenca del Guadalquivir, pero también en centrar las investigaciones de detalle en dos áreas principales: El Valle del Genil alrededor de Granada, y en el área de Sevilla, incluyendo el delta del Guadalquivir.

Las actividades del Proyecto con apoyo internacional (“Estudio hidrogeológico de la Cuenca del Guadalquivir”) se desarrollaron entre 1966 y 1969, y se emplearon las más modernas técnicas de investigación hidrogeológica, incluyendo la geofísica en gran escala, los modelos matemáticos, los análisis isotópicos, los balances hídricos combinados de aguas superficiales y subterráneas, experiencias de recarga artificial de acuíferos, y estudios económicos de desarrollo hídrico, todo ello apoyado por numerosos consultores internacionales, constituyendo, en conjunto, el más amplio estudio hidrogeológico hecho en España hasta la fecha.”

El Plan de Investigación de Aguas Subterráneas (PIAS): un gran hito científico-técnico

- 
- Diagnosticar sobre el lugar que ocupan las aguas subterráneas en el conjunto de los recursos hidráulicos, definiendo y delimitando los grandes sistemas acuíferos existentes en el país y cuantificándolos además en una primera evaluación de sus potencialidades.
 - De otra parte, preparar un Programa previo de investigaciones de los expresados grandes sistemas acuíferos, en el que se contuviesen las líneas directrices de las investigaciones futuras y se estimasen los medios necesarios para realizarlas.

1971





Delimitación de los Sistemas acuíferos españoles

CUADRO 44

BALANCE HIDRICO DE ESPAÑA

CUENCAS	Norte	Duero	Tago	Guadiana	Guadalquivir	Sur	Segura	Júcar	Ebro	Pirineo Oriental	Baleares (Mallorca)	Canarias	TOTAL
Extensión (km ²)	53.800	78.970	55.770	59.870	63.080	18.390	18.630	42.900	85.550	16.490	3.620	—	497.070
Precipitación media anual (hm ³)	75.100	48.650	36.650	33.150	37.300	9.950	6.650	22.100	51.700	12.300	2.170	—	335.720
Evapotranspiración real media anual (hm ³)	32.350	34.700	26.350	27.300	28.600	6.850	5.750	18.200	34.000	10.200	1.570	—	225.870
Escorrentía total media anual (hm ³)	42.750	13.950	10.300	5.850	8.700	3.100	900	3.900	17.700	2.100	600	—	109.850
Escorrentía superficial (hm ³)	37.140	12.520	8.140	5.140	6.440	2.200	390	1.440	14.580	1.160	150	—	80.200
Escorrentía subterránea (hm ³)	5.610	1.430 *	2.160	710	2.260	900	510	2.460	3.120	940	450	—	20.550
Porcentaje de escorrentía subterránea (%)	13	10	21	12	26	29	57	63	18	45	75	—	19
Coefficiente de escorrentía total (%)	57	28	28	17	23	31	13	17	34	16	27	—	33

* En este valor no se ha tenido en cuenta la recarga de la cuenca artesiana.

7.2.1.8 Programa para la investigación de las aguas subterráneas

De acuerdo con los estudios efectuados en el II Plan para confeccionar el Mapa Hidrogeológico Nacional, se han determinado y se resumen también en este tomo los programas de investigación necesarios para los 76 sistemas acuíferos más importantes de la Península y para 11 de la España insular.

El total de inversiones asciende a 1.820 millones de pesetas, en dos cuatrienios, correspondiendo al primero de ellos 1.270 millones de pesetas. Prevista la coordinación para este proyecto con los Ministerios de Obras Públicas, Educación y Ciencia y Agricultura, se ha estimado que en el III Plan de Desarrollo corresponderá al IGME una inversión de

570.0



...unos 245 millones de euros de 2024.../ más de 30 millones por año

El nuevo Plan de Acción de Aguas Subterráneas (2023-2030)



500 millones de euros

El nuevo Plan de Acción de Aguas Subterráneas

Objetivo general:

la mejora del conocimiento, gestión y gobernanza de las aguas subterráneas, enfocada al gran reto de alcanzar el buen estado cuantitativo y químico de las masas de agua subterránea y los objetivos de las zonas protegidas y ecosistemas asociados, compatibilizándolo con una utilización sostenible de las aguas subterráneas para los diferentes usos.

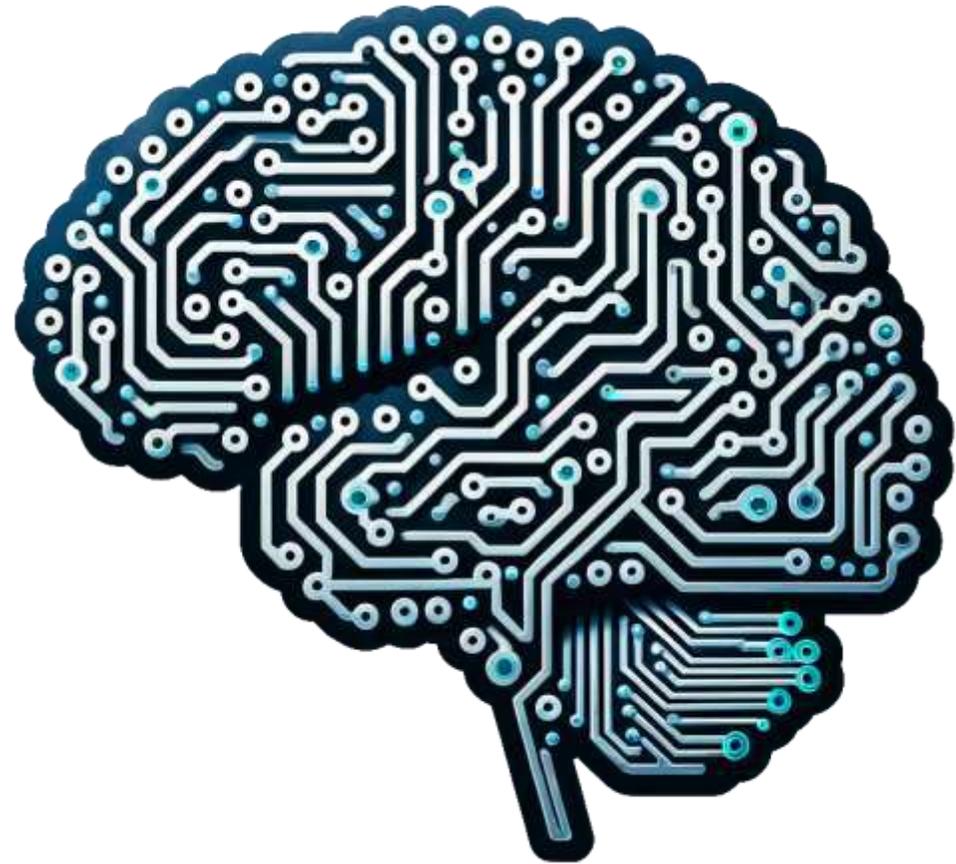
Objetivos específicos:



- Identificar y fomentar la implicación de los principales actores estatales que pueden contribuir al desarrollo del Plan
- Mejorar y actualizar el conocimiento hidrogeológico general de los acuíferos y masas de agua subterránea
- Avanzar en el conocimiento de las relaciones causa-efecto que existen entre las distintas presiones y actuaciones a las que están sometidas las masas de agua subterránea, con el objeto de tener un mejor establecimiento de los procesos DPSIR
- **Impulsar, de forma generalizada, la utilización de los instrumentos, herramientas y tecnologías más actualizados y punteras**
- Mejorar las redes de control, ya existentes, de las masas de agua subterránea
- Facilitar el acceso público a la información hidrogeológica
- Contribuir a divulgar, visibilizar y concienciar sobre los riesgos asociados a la mala gestión de las aguas subterráneas en un contexto de creciente escasez de recursos hídricos
- Avanzar en la resolución de los problemas, generalmente, asociados a su aprovechamiento intensivo de las aguas subterráneas
- Mejorar el conocimiento científico-técnico y desarrollar herramientas y soluciones generales y particulares para hacer frente a los problemas de contaminación de las aguas subterráneas
- **Impulsar, en su sentido más amplio, la digitalización del sector del agua**
- Mejorar los aspectos normativos y de gobernanza que faciliten la gestión de las aguas subterráneas
- Fomentar la creación de comunidades de usuarios y fortalecer el papel de las mismas
- Fomentar sinergias en el seno de las Administraciones que contribuyan a la dotación de personal con formación y conocimientos en hidrogeología.

Un nuevo paradigma, la inteligencia artificial

La inteligencia artificial (IA) es una disciplina y un conjunto de capacidades cognitivas e intelectuales expresadas por sistemas informáticos o combinaciones de algoritmos cuyo propósito es la creación de máquinas analógicas y digitales que **imiten la inteligencia humana para realizar tareas avanzadas y que pueden mejorar** conforme recopilan nueva información



Tipos de inteligencia artificial



Sistemas que piensan como humanos: tratan de emular el pensamiento humano; por ejemplo, las redes neuronales artificiales. La automatización de actividades que vinculamos con procesos típicos del pensamiento humano, actividades como la toma de decisiones, resolución de problemas y aprendizaje.

Sistemas que actúan como humanos: tratan de actuar como humanos; es decir, imitan el comportamiento humano; por ejemplo, la robótica.

Sistemas que piensan racionalmente: es decir, con lógica (idealmente), tratan de imitar el pensamiento racional del ser humano; por ejemplo, los sistemas expertos (el estudio de los cálculos que hacen posible percibir, razonar y actuar).

Sistemas que actúan racionalmente: tratan de emular de forma racional el comportamiento humano; por ejemplo, los agentes inteligentes, que están relacionado con conductas inteligentes en artefactos.

Inteligencia artificial generativa

Sistema de inteligencia artificial capaz de generar textos, imágenes, audios, videos o similares. Los modelos de IA generativa aprenden los patrones y la estructura de sus datos de entrenamiento de entrada y luego generan nuevos datos con características similares.

Incluyen ChatGPT (y su variante Microsoft Copilot), bot conversacionales, como el creado por OpenAI, usando sus modelos de lenguaje GPT-3 y GPT-4; y Gemini (anteriormente llamado Bard), un bot conversacional creado por Google usando el modelo de lenguaje Gemini. Otros modelos generativos de IA incluyen sistemas de arte de inteligencia artificial como Stable Diffusion, Midjourney y DALL-E. También la IA de imágenes de Adobe (Adobe Firefly).

Inteligencia artificial sólida, fuerte o general

La Inteligencia artificial general (IGA) es un tipo hipotético de inteligencia artificial que iguala o excede la inteligencia humana media. Si se hiciera realidad, una IGA podría aprender a realizar cualquier tarea intelectual que los seres humanos pudieran llevar a cabo. Algunos sostienen que podría ser posible en años o décadas; otros, que podría tardar un siglo o más; y una minoría cree que quizá nunca se conseguirá.

Existe un debate sobre la definición de IGA y sobre si los grandes modelos de lenguaje (LLM) modernos, como el GPT-4, son formas tempranas pero incompletas de IGA.

Demis Hassabis Nobel de Química

“Necesitaremos grandes avances antes de llegar a una IA general”

El director general de Google DeepMind enfría las expectativas en torno al progreso de esta tecnología

MANUEL G. PASCUAL
Londres

“Estamos en un momento importante para la ciencia y la inteligencia artificial (IA). En los últimos dos o tres años, hemos visto cómo las herramientas de IA se están volviendo lo suficientemente potentes y maduras para poder aplicarlas a problemas del mundo real”, opina Demis Hassabis, uno de los personajes más relevantes de la disciplina. Este británico de 48 años es el fundador y consejero delegado de Google DeepMind, la rama de investigación en IA del gigante tecnológico, y ganador del Premio Nobel de Química.

Sus apariciones públicas son tan escasas como sus entrevistas. Accede a sentarse unos minutos en Londres con una veintena de medios internacionales, entre ellos EL PAÍS, en el marco del foro AI for Science, organizado el lunes por su empresa y The Royal Society. Abi despliega su verbo veloz y rehúye las preguntas más políticas, como qué regulación de la IA espera cuando Donald Trump vuelva a la Casa Blanca. A esa autocontención le ayuda

tener a su lado a James Manyika, vicepresidente de investigación de Google.

Hassabis dejó en ese encuentro con periodistas una reflexión que choca con las proclamas de algunos competidores. “Los grandes modelos multimodales de IA generativa [los que son capaces de interpretar textos, imágenes y vídeos] van a ser una parte fundamental de la solución global para desarrollar una IA general [la que iguale o supere a las capacidades humanas], pero no creo que sean suficientes por sí solos. Creo que vamos a necesitar un puñado de otros grandes avances antes de llegar a lo que llamamos IA general”, opina este antiguo niño prodigio del ajedrez. Todo un toque de atención a quienes, como Sam Altman, consejero delegado de OpenAI, o Elon Musk, empresario tecnológico y hombre fuerte de la futura Administración de Trump, vienen asegurando que esa superinteligencia está a la vuelta de la esquina.

La suya no es una opinión cualquiera, Google le entregó el año pasado los mandos de la investigación en IA, fusionando su empresa, DeepMind, que antes funcionaba como una especie de laboratorio de ciencia básica un tanto independiente de la estructura de Google, con las otras divisiones dedicadas a avanzar en esta tecnología. El resultado más visible ha sido un impulso rápido de Gemini y otras herramientas de IA generativa.



Demis Hassabis, el 9 de octubre en Londres. DAN KITWOOD (GETTY)

Pero la consagración de Hassabis llegó hace un mes, cuando ganó junto a otros dos colegas de DeepMind el Nobel de Química por el desarrollo de AlphaFold, una herramienta de IA que ha sido capaz de describir la estructura de los 200 millones de proteínas conocidas. Se trata de un avance imposible de conseguir sin el impulso de la IA y que confirma lo que sostiene Hassabis: la IA está llamada a ser uno de los puntales de los avances científicos de los próximos años.

Hijo de padre griecochipriota y de madre singapurense, Hassabis recuerda que cuando fundó

DeepMind, en 2010, “todavía no se podía hacer casi nada con la IA”. “Durante los primeros años operamos en un plano más teórico. Nos enfocamos en juegos y videojuegos que nunca fueron un fin en sí mismos. Nos daba un entorno controlado en el que operar y hacernos preguntas. Pero mi pasión siempre ha sido usar la IA para acelerar el conocimiento científico. Logramos escalar hasta conseguir resolver un problema del mundo real, como es la estructura de las proteínas”, recuerda el ingeniero y neurocientífico.

¿Hay alguna área científica en la que la IA no pueda tener impacto? “Creo que estamos bien preparados para ayudar a resolver aquellos problemas que se puedan describir como una gran búsqueda a través de un espacio combinatorio. Tienes que poder construir un modelo y describir el objetivo en términos de una métrica. Por ejemplo, en el plegamiento de proteínas, minimizar el error entre las posiciones reales de los átomos y las predichas”.

Otra de las cuestiones que surgieron durante la conversación con Hassabis fue la de la huella ambiental de la IA. ¿Le preocupa la cantidad de energía y agua que consume? “Mi opinión es que los beneficios de estos sistemas superarán con creces su consumo de energía. Las herramientas de previsión meteorológica, de optimización de la red eléctrica o de diseño de materiales contribuirán a resolver el cambio climático. Por supuesto, también tenemos que intentarlo geopolíticamente, pero parece que eso no está funcionando. Así que yo intentaría soluciones técnicas: nuevos diseños de baterías, nuevos superconductores, fusión nuclear. Eso es lo que la IA puede aportar”.

Hassabis se ha ganado una reputación como científico. El Nobel es el más importante de una larga lista de premios cosechados antes de cumplir los 50, entre ellos el Princesa de Asturias de Investigación Científica y Técnica de 2022 por “sus contribuciones al avance de la IA y a su integración plena en la sociedad”.

“Siempre he querido usar estos sistemas para acelerar el saber científico”

“Los beneficios superarán con creces su consumo de energía”



PRINCESS OF ASTURIAS AWARDS

DES ASTURIAS | PRINCESSIN-VON-ASTURIEN-PREISE | P

Demis Hassabis:
“no está tan cerca una IA general...”

La inteligencia artificial y el agua

#insights

Donde confluyen las ideas

IA y Machine Learning en las disciplinas del agua y el medioambiente: del hidrólogo al “hidroinformático”

BLOGS » DIGITALIZACIÓN

La búsqueda del agua subterránea usando inteligencia artificial

27/06/2022

Sobre el blog



Víctor Gómez-Escalonilla Canales

Profesor ayudante en el Dpto. Geodinámica, Estratigrafía y Paleontología de la UCM.



Blog asociado a:



UCM



La Agenda 2030 sobre el Desarrollo Sostenible tiene como objetivo número 6 "Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos". En África subsahariana, el agua subterránea desempeña un papel fundamental para el suministro de agua potable, ya que cerca del 80% de la población usa como principal fuente de abastecimiento los recursos hídricos subterráneos. Esta dependencia, sin embargo, no se encuentra ligada a una infraestructura de captación adecuada en muchos casos. En algunas regiones, menos del 30% de los pozos encuentran agua en cantidad y calidad suficiente. Esto se debe principalmente al desconocimiento

La inteligencia artificial localiza el agua "invisible" en Mali y Chad

- El software MLMapper, creado por la Universidad Complutense de Madrid, predice las zonas de mayor interés hidrogeológico para la explotación de las aguas subterráneas en regiones desfavorecidas
- La tasa de éxito de los algoritmos de *machine learning* está cercana al 90% y permitiría a los organismos utilizar los mapas para elaborar planes de perforación de pozos más eficientes

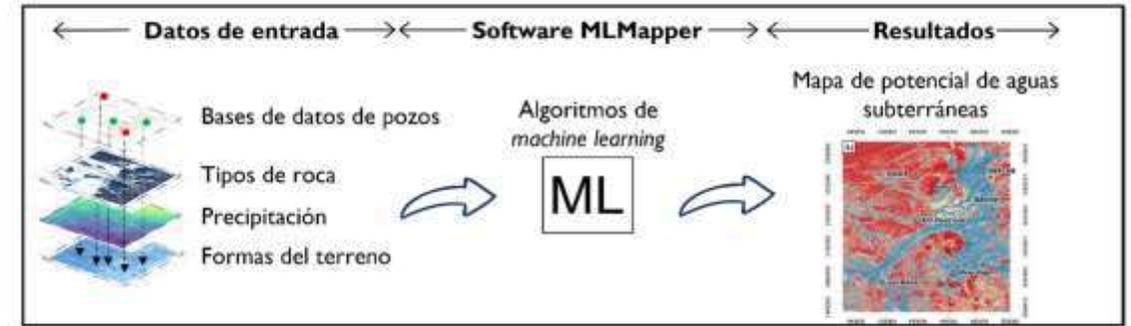


Pozo comunitario en Beleko-Soba (Mali). / Pedro Martínez Santos.

Los algoritmos de *machine learning* buscan los patrones de las variables explicativas que conducen a la presencia de pozos exitosos, es decir, zonas con aguas subterráneas en calidad y cantidad suficiente. Para ello, utilizamos el *software MLMapper*, desarrollado junto a otros investigadores de la Universidad Complutense de Madrid y de la Universidad de Neuchâtel (Suiza). Esta herramienta, programada en lenguaje *Python*, incluye diecinueve algoritmos de clasificación supervisada (*Artificial Neural Networks*, *Random Forest* y *K-Nearest Neighbors*, entre otros). Además, incluye la posibilidad de realizar análisis de multicolinealidad entre variables, procesos de optimización del número de factores condicionantes y procesos de optimización de los hiperparámetros de los propios algoritmos.

La fase de validación de los resultados nos permite evaluar la capacidad predictiva de los modelos y, en caso de que estos sean positivos, podemos predecir si las condiciones hidrogeológicas son favorables o no en zonas en las que carecemos de dicha información. En otras palabras, buscamos las zonas en las que si perforásemos un pozo tendríamos más posibilidades de éxito.

Hasta ahora, los resultados obtenidos en las aplicaciones realizadas en las regiones de Koulikoro (Mali) y Ouaddaï (Chad) rozan tasas de éxito del 90%. Estos resultados, junto con las verificaciones llevadas a cabo en el terreno, confirman la capacidad de la inteligencia artificial para encontrar las mejores zonas para perforar nuevas captaciones de agua subterránea. Por ello, el producto final de estas investigaciones —los mapas de potencialidad hidrogeológica— podrían ser usados por los organismos competentes para elaborar planes de perforación de pozos más eficientes en un futuro.

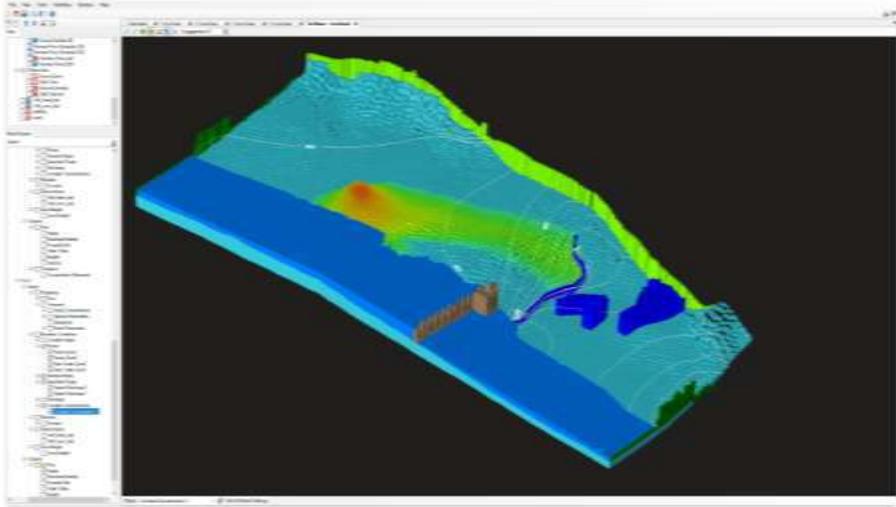


Esquema del funcionamiento de la herramienta. / Víctor Gómez-Escalonilla

Gómez-Escalonilla, V., Martínez-Santos, P., and Martín-Loeches, M. (2022): Preprocessing approaches in machine-learning-based groundwater potential mapping: an application to the Koulikoro and Bamako regions, Mali, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 26, 221–243.

Gómez-Escalonilla Víctor, Vogt Marie-Louise, Destro Elisa, Isseini Moussa, Origi Giame, Djoret Daira, Martínez-Santos Pedro & Holecz Francesco (2021): Delineation of groundwater potential zones by means of ensemble tree supervised classification methods in the Eastern Lake Chad basin, *Geocarto International*.

Algunas dudas sobre su aplicación actual



Uso de inteligencia artificial en modelamientos hidrológicos e hidrogeológicos: un enfoque polémico



Centro Geotecnico Internacional - CGI

Visionamos ser una organización líder a nivel mundial en servicios para el sector minero, constructor y energético.

Fecha de publicación: 27 ene 2024

Seguir

“el uso de la IA en el modelamiento hidrológico e hidrogeológico plantea una serie de desafíos, dudas y controversias:

- **La falta de datos:** Los modelos hidrológicos e hidrogeológicos requieren grandes cantidades de datos para ser precisos. La IA puede ayudar a abordar este desafío, pero es importante tener en cuenta que la calidad de los datos es fundamental para la precisión de los modelos.
- **La interpretabilidad:** Los modelos hidrológicos e hidrogeológicos deben ser interpretables para que los usuarios puedan comprender cómo funcionan y tomar decisiones informadas. La IA puede dificultar la interpretabilidad de los modelos, ya que estos pueden ser muy complejos.
- **La responsabilidad:** El uso de la IA en el modelamiento hidrológico e hidrogeológico puede tener implicaciones importantes para la sociedad. Es importante tener en cuenta las responsabilidades éticas y legales asociadas con el uso de la IA en este campo.”

Ejemplos de aplicaciones de la IA ya utilizadas

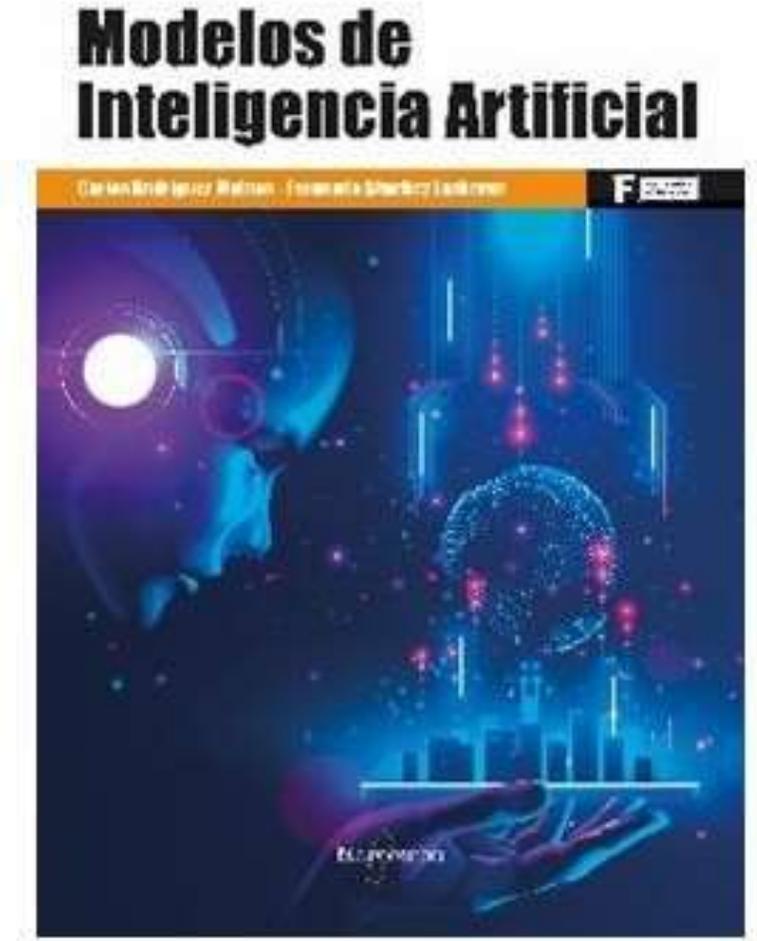


- En el campo de la **Hidrología superficial**, la IA se ha utilizado para mejorar la predicción de inundaciones.
- En el campo de la **Hidrogeología**, la IA se ha utilizado para mejorar la estimación de los recursos hídricos subterráneos y para la cartografía de potencialidad de aguas subterráneas.
- En el campo de la **Gestión de los recursos hídricos**, la IA se ha utilizado para optimizar el uso del agua, por ejemplo para desarrollar un modelo para optimizar una red de riego con mayor eficiencia que los métodos tradicionales.

Posibles aplicaciones de la IA en modelación hidrológica e hidrogeológica

La IA se ha utilizado hasta el momento en una variedad de aplicaciones en la modelación hidrológica e hidrogeológica. Algunas de las aplicaciones posibles en el futuro incluyen:

- **Mejora de la precisión y confiabilidad de los modelos:** la IA se puede utilizar para mejorar la precisión y confiabilidad de los modelos hidrológicos e hidrogeológicos de varias maneras. Por ejemplo, la IA se puede utilizar para incorporar datos adicionales en los modelos, optimizar los parámetros de los modelos, calibrar los modelos con datos observados.
- **Automatización de tareas rutinarias o complejas:** la IA se puede utilizar para automatizar tareas rutinarias o complejas en el modelamiento hidrológico e hidrogeológico. Por ejemplo, la IA se puede utilizar para: generar mallas complejas de elementos finitos, resolver sistemas de ecuaciones diferenciales múltiples, crear gráficos tridimensionales y animaciones.
- **Exploración de nuevas posibilidades de modelado:** la IA se puede utilizar para explorar nuevas posibilidades de modelado hidrológico e hidrogeológico. Por ejemplo, la IA se puede utilizar para desarrollar nuevos métodos de modelado o aplicar modelos a nuevas situaciones.



Lo más importante de la IA aplicada a la Hidrogeología es saber qué preguntas hacer...





Muchas gracias por su atención