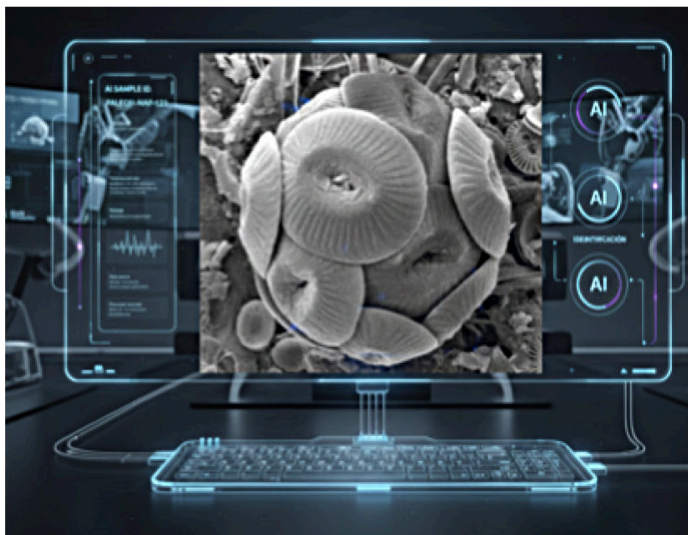


NOTAS GEOCIENTÍFICAS

AVANCES DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL APLICADA AL NANNOPLANCTON CALCAREO

Marianto Castro Mora

notasgeologiavenezuela@gmail.com



RESUMEN

La Inteligencia Artificial (IA) es una tecnología que permite, a través de algoritmos, la simulación de procesos de la inteligencia humana y su aplicación a la resolución de problemas, la toma de decisiones, la creatividad y la autonomía. Esta técnica se utiliza activamente en el estudio del nanoplancton calcáreo para la identificación automatizada de especies, el análisis de imágenes y la construcción de gráficos de conocimiento para mejorar la

eficiencia de la investigación en bioestratigrafía y reconstrucción paleoambiental.

ABSTRACT

Artificial intelligence (AI) is a technology that develops algorithms that allows the simulation of human intelligence processes and its application to problem-solving, decision-making, creativity, and autonomy. This technique is actively used in the study of calcareous nanoplankton for automated species identification, image analysis, and the construction of knowledge graphs to improve the efficiency of research in biostratigraphy and paleoenvironmental reconstruction.

Palabras claves: Inteligencia Artificial, nanoplancton, datación, autonomía, decisiones, eficiencia, análisis

Key Word: Artificial Intelligence, nanoplankton, dating, autonomy, decisions, efficiency, analysis

INTRODUCCION

Se conoce como nanoplancton calcáreo a las algas marinas microscópicas unicelulares de color marrón dorado (cocolitóforos) que producen intrincadas placas de calcita llamadas cocolitos. Estos organismos constituyen un componente importante del fitoplancton oceánico y sus restos fosilizados, conocidos como nannofósiles calcáreos, son cruciales para los estudios geológicos. Figura 1.

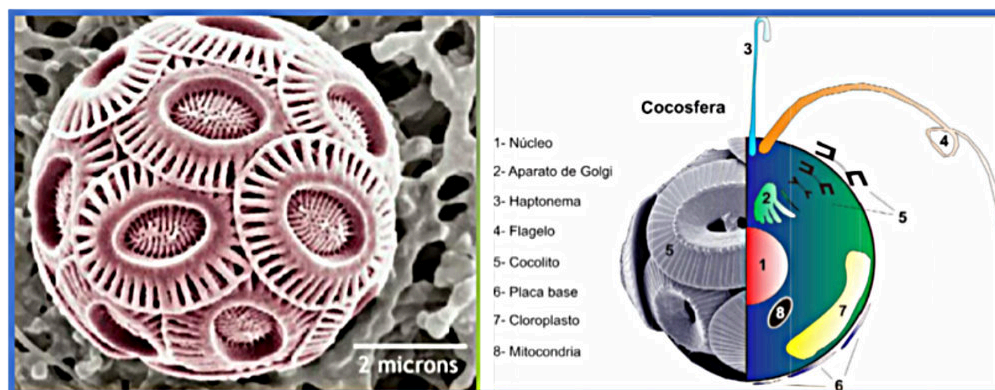


Figura 1: Cocosfera, biología general. Gráfico tomado de Flores & Sierro, 2007 y Christian Giraldo Parra.

Debido a su abundancia, rápida evolución y amplia distribución, sus fósiles constituyen excelentes marcadores para la datación de secuencias sedimentarias marinas de los últimos 220 millones de años (épocas Mesozoica y Cenozoica). Para correlacionar los estratos rocosos a nivel mundial, se utilizan esquemas de zonificación estandarizados, como los propuestos por Martini (1971).

Sus estudios se aplican en la industria petrolera como datadores precisos de los estratos, correlación de pozos y caracterizador de secuencias que actúan como trampas para el almacenamiento de petróleo. También se utilizan en la investigación climática y ambiental, en el modelaje del cambio climático como indicadores de temperatura, salinidad y la disponibilidad de nutrientes, proporcionando información sobre los climas antiguos y la química de los océanos. Al igual que otros organismos con exoesqueletos de carbonato, el nannoplancton calcáreo, en particular los coccolitóforos, desempeñan un papel doble y complejo al crear carbono orgánico e inorgánico, siendo un importante sumidero de carbono durante fenómenos climáticos extremos.

PRIMEROS PASOS

A finales de los años ochenta, a nivel mundial, se comenzaron a desarrollar lo que se denominó sistemas expertos en diferentes áreas del conocimiento.

En Venezuela, la doctora María Antonieta Lorente y su equipo del Laboratorio geológico de Maraven S.A. desarrolló un sistema para el análisis digital de imágenes aplicado a datos estratigráficos. El sistema realizaba la caracterización cuantitativa de concentrados de materia orgánica y de secciones delgadas petrográficas o fragmentos pulidos de rocas presentes en muestras de yacimientos petrolíferos. El equipo utilizado consistía de una cámara de video para capturar imágenes; un microscopio o una serie de fotografías (imágenes); un digitalizador electrónico para digitalizar y almacenar las imágenes; y un microprocesador para realizar operaciones de procesamiento digital de imágenes. Los datos morfológicos, como el área, el perímetro, el ancho, la

longitud y la orientación de las partículas, se obtenían a partir de la representación digital de las partículas mediante algoritmos basados en los principios de conectividad y la teoría de momentos. El proceso permitía la automatización de análisis sedimentológicos y palinológicos cuantitativos, así como la caracterización estadística de las muestras con base en parámetros geológicos ampliamente utilizados derivados de los datos morfológicos.

Lagoven S.A., por su parte, a través de un programa de tesis de grado con estudiantes de computación desarrolló dos sistemas expertos. El primero, denominado SIADEN, que se alimentó con los datos de rango de edad (primera ocurrencia a última ocurrencia) de nannoplancton calcáreo. Para el Cretácico, se utilizó la zonación de Sissingh, 1977 y Perch-Nielsen, 1979 y para el Paleoceno al Reciente, la zonación de Martini, 1971. El sistema, una vez analizada la muestra por el micropaleontólogo, era capaz de brindar la edad o rango de edad de los microfósiles presentes en la lámina. Al finalizar el análisis del pozo, realizaba la carta de distribución automática con las diferentes edades encontradas. El segundo sistema experto denominado SIGPAL, era un sistema de reconocimiento de imágenes para identificación de género y especies de polen y esporas. Este sistema experto fue muy utilizado para entrenamiento y fines educacionales.

Estas aplicaciones se desarrollaron con la tecnología existente y su aplicación era focalizada a la automatización o apoyo al trabajo del geólogo. Estos sistemas fueron los primeros pasos a lo que hoy en día vivimos con el desarrollo de la Inteligencia Artificial, no solo en el trabajo de geología, sino en casi todas las facetas de la vida diaria. Por supuesto, el nannoplancton calcáreo no podía ser la excepción y en ello focalizamos esta disertación.

APLICACIONES CLAVE DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA INVESTIGACION DEL NANNOPLACTON CALCAREO

La Inteligencia Artificial aplicada al nannoplancton calcáreo se enfoca en el uso de algoritmos avanzados para analizar grandes volúmenes de datos (imágenes



Figura 2: Presentación del sistema experto SIGPAL en las IV Jornadas de Informática de Intevep S.A., Marzo de 1996.

microscópicas, secuencias genéticas, datos paleoclimáticos) para identificar, clasificar y estudiar estas microalgas (como los cocolitos) y sus fósiles. La utilización de Inteligencia Artificial puede acelerar una tarea tradicionalmente manual y laboriosa. Su integración con métodos tradicionales puede mejorar la precisión en la reconstrucción ambiental. A continuación, se mencionan algunas de las áreas claves que se vienen desarrollando:

- Identificación y clasificación automatizadas: Las redes neuronales profundas y los métodos de visión artificial usan miles de imágenes microscópicas. El entrenamiento de esta cantidad de data sirve para reconocer ejemplares de especies específicas y contarlos automáticamente. Esto reduce significativamente el tiempo y el esfuerzo, con índices de precisión que a menudo superan el 90 %. Proyectos como el método de "identificación asistida de nanofósiles calcáreos" (AICN) utilizan redes neuronales convolucionales profundas (CNN) para identificar rápidamente especies fósiles clave.
- Análisis y predicción de datos: la IA se utiliza para analizar datos cuantitativos (abundancias relativas de especies) para predecir parámetros paleoceanográficos, como la temperatura del agua superficial del mar (TSM) y los valores isotópicos de oxígeno.
- Construcción de bases de datos de conocimiento: Este tipo de actividad se aplica al nannoplacton calcáreo, así como a otros grupos fósiles. El objetivo es construir grandes bases de conocimiento para integrar datos estructurados, semiestructurados y no estructurados de diversas fuentes (bibliografía, bases de datos como Nannotax, universidades, industria y programas de perforación oceánica). Estos sistemas ayudarán a gestionar grandes cantidades de conocimiento paleontológico y facilitarán un razonamiento de conocimiento más sofisticado y la fusión de datos.
- Reconstrucción paleoambiental: el análisis asistido por Inteligencia Artificial de conjuntos de nannoplancton, combinado con otros indicadores, permitirá a los científicos reconstruir las condiciones climáticas pasadas, los patrones de circulación oceánica y los cambios en la productividad primaria con alta resolución y rapidez, algunos hablan que en un futuro cercano con inmediatez. Actualmente, se han implementado nuevas teorías para conocer la distribución potencial de las especies mediante modelos de nicho ecológico (MNE) (Elith et al. 2010). Para ello, se han elaborado herramientas derivadas de Inteligencia Artificial que correlacionan datos de presencia de las especies y la respuesta de los individuos a la temperatura, humedad y otros parámetros físicos. Los cambios climáticos globales requieren cada vez más de respuestas inmediatas y la Inteligencia Artificial es la solución para la elaboración de diferentes escenarios hipotéticos sobre cómo

afectará el clima en proyecciones de hasta de un siglo de una manera expedita.

- Bioestratigrafía y correlación en la industria petrolera: al automatizar la identificación de bioeventos (la aparición o desaparición de especies específicas) y

otros tipos de información geológica, la Inteligencia Artificial ayudará a construir biozonificaciones generalizadas y a correlacionar capas de sedimentos en diferentes pozos y regiones con mayor velocidad y consistencia.



Figura 3: A la izquierda una imagen del estudio laborioso diario de un micropaleontólogo y a la derecha una imagen idealizada de como algoritmos de Machine Learning (como redes neuronales) con miles de imágenes de microscopio pueden identificar especies y contar cocolitos mucho más rápido que un ser humano. Imagen generada por Gemini.

EJEMPLOS DE LOS AVANCES

A continuación, algunos ejemplos de los avances en proyectos formales llevados a cabo por universidades, entes privados y la International Association of Calcareous Nannoplankton:

- El Instituto de Geología y Paleontología de la Facultad de Ciencias de la Universidad Carolina, en colaboración con Cogniware, ha probado un sistema para el reconocimiento automático de cocolitos mediante tecnología de Inteligencia Artificial. Durante el experimento, el objetivo fue la identificación precisa de la especie *Cyclicargolithus floridanus*, minimizando su confusión con especies morfológicamente similares. Al entrenar una red neuronal profunda, se crea un sistema capaz de procesar miles de imágenes durante una hora, reconocer ejemplares de ciertas especies y registrar su número. El entrenamiento consiste en seleccionar especímenes apropiados de *Cyclicargolithus floridanus*, marcarlos, prepararlos para el entrenamiento del modelo (ajustes automáticos, como girar las muestras anotadas) y entrenar la red neuronal. Se necesitan al menos 1000 ejemplares de cada especie para crear el modelo. El proyecto se basa en el supuesto de que la tasa de reconocimiento debe ser superior al 90%. El resultado a largo plazo podría ser un análisis cualitativo y

cuantitativo de las asociaciones de nannoplankton calcáreo en portaobjetos en tan solo minutos.

- Clasificación automatizada de microfósiles mediante reconocimiento de imágenes y aprendizaje automático, para desarrollar un sistema de Inteligencia Artificial para la datación por edad. Este proyecto está siendo realizado en colaboración con Recursos, JAMSTEC; Corporación NEC; Centro de Investigación Avanzada de Núcleos Marinos, Universidad de Kochi; Centro de Investigación y Desarrollo para el Cambio Global, JAMSTEC; Grupo de Investigación en Geología Marina, AIST y el Centro de Investigación y Desarrollo para la Ciencia de la Perforación Oceánica, JAMSTEC. El objetivo de este estudio es aplicar tecnologías de aprendizaje automático y reconocimiento de imágenes a la identificación taxonómica de microfósiles y desarrollar un sistema de Inteligencia Artificial que pueda determinar automáticamente la edad de los sedimentos obtenidos mediante núcleos. Como estudio de viabilidad, se está probando el software de "RAPID Machine Learning" de la corporación NEC para identificar dos tipos de nannofósiles calcáreos con estructuras relativamente simples: *Pseudoemiliana* y *Reticulofenestra*. Hasta ahora se ha logrado un 60% de confiabilidad en su identificación, pero se sigue trabajando arduamente para lograr resultados óptimos.

- Nannotax3, base de datos de referencias. Esta página ofrece una bibliografía bastante completa de la literatura taxonómica sobre nannofósiles calcáreos. Se basa en las bibliografías de Bown (1998) *Calcareous Nannofossil Biostratigraphy* y Young et al. (2003) *Guide to Extant Coccolithophore Taxonomy*, complementada con referencias de la literatura más reciente. Actualmente, (hasta marzo de 2025), se incluyen aproximadamente 5300 referencias. En los casos en que se dispone de copias en PDF de acceso abierto, se han incluido enlaces para consultarlas o abrirlas. Si bien Nannotax3 es principalmente una base de datos, opera dentro de un panorama más

amplio y en rápida evolución de investigación paleontológica impulsada por Inteligencia Artificial. Con Nannotax3 se están creando estructuras de datos automatizadas, semánticas y legibles para la identificación taxonómica con técnicas de redes neuronales convolucionales (CNN) para identificar y clasificar automáticamente las especies de nannofósiles. Esto se logra utilizando las imágenes de alta calidad de Nannotax3. Se está trabajando para la integración total de Nannotax3 e Inteligencia Artificial para realizar estudios más eficientes y a gran escala sobre la evolución del nannoplancton, la paleoecología y la biozonificación.

TAREA	LABOR DIARIA	AVANCE CON INTELIGENCIA ARTIFICIAL
Tiempo de Identificación	Horas por muestra (dependiendo de la cantidad de especies presentes)	Minutos
Tiempo de conteo	Horas por muestra (dependiendo de la cantidad de especies presentes)	Minutos
Fatiga humana	Media a alta (dependiendo del cansancio)	Nula (Puede trabajar 24 /7)
Análisis de datos	Basado en experiencia del especialista	Alta a media dependiendo de la calidad de los datos (base de datos)
Identificación	Con premura operacional normalmente se realiza con especies índice (especies datadoras)	Capacidad de procesar una alta cantidad de los géneros y especies presentes en la muestra

Figura 4: Tabla de comparación de la labor actual diaria de un micropaleontólogo vs. El futuro con Inteligencia Artificial.

El futuro de la Inteligencia Artificial es prometedor y está cargado de potencial. Se prevé que la Inteligencia Artificial siga optimizando la eficiencia en los procesos de identificación, desempeñando un papel crucial en la evolución de la visión artificial. Esto permitirá un reconocimiento de imágenes más exacto y una gestión sofisticada de grandes volúmenes de imágenes y datos. Esta tecnología no solo ganará eficiencia, sino que se convertirá en el pilar fundamental de los sistemas de

identificación avanzados convirtiendo ingentes cantidades de datos en conocimiento accionable. Para lograrlo, es fundamental contar con bases de datos acreditadas y el aporte de expertos experimentados, que permitan alimentar los sistemas con información homologada para así obtener identificaciones sólidas y desarrollar modelos respaldados por información validada y de la más alta calidad.

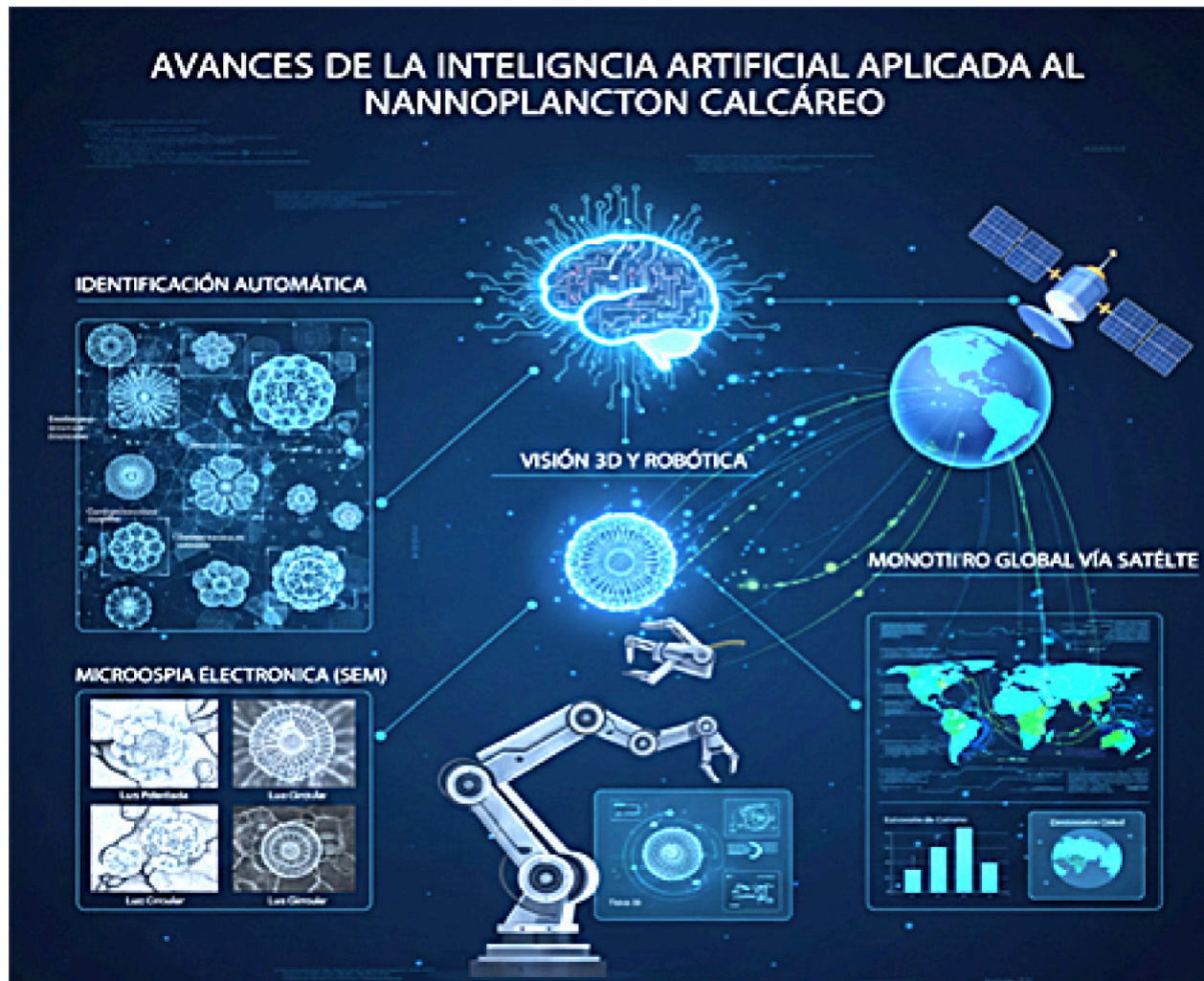


Figura 5: Imagen generada por Gemini de cómo nos podríamos imaginar el futuro de la integración de la información en nanoplancton calcáreo, que podría ser aplicado a otras áreas de la micropaleontología.

REFERENCIAS

BOLLI, H. M.; SAUNDERS, J. B.; PERCH-NIELSEN, K. 1989. **Plankton stratigraphy**. Volume I, planktic foraminifera, calcareous nanoplankton and calpionellids. Cambridge University Press.

BOWN, P.R., Eds (1998). **Calcareous Nanofossil Biostratigraphy**. New York: Springer Science.

BOWN, P.R. 1998. **Calcareous Nanofossils Biostratigraphy**. Kluwer Academic Press, Dordrecht.

CASTRO MORA, M. 1996. **El impacto de los sistemas de información gerencial y los sistemas expertos en**

bioestratigrafía. Memorias IV Jornadas de informática, Marzo 1996, Intevp S.A.

ELITH, J.; PHILLIPS, S. J.; HASTIE, T.; DUDIK, M.; CHEE, Y. E.; YATES, C. J. 2010. **A statistical explanation of MaxEnt for ecologists**. Wiley, on line library. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1472-4642.2010.00725.x>

FLORES, J.A.; SIERRA, F.J., 2007. **Coccolithophores**. En: Scott, A. Elias (Ed.). Encyclopedia of Quaternary Science, 1634-1647. Editorial: Elsevier, Amsterdam, Holanda.

GEMINI. Generador de imágenes virtuales. https://gemini.google.com/app?is_sa=1&is_sa=1&android-min-

[version=301356232&ios-min-version=322.0&campaign_id=bkws&utm_source=sem&utm_medium=paid-media&utm_campaign=bkws&pt=9008&mt=8&ct=pgrowth-semin-bkws&gclid=EAAlQobChMIhcLWgMPPkgMVnTMIBR2dIAr-EAAYASAAEgKTCPD BwE](https://www.academia.edu/5826279/COCOLIT%3%93FOROS_Y_NANOF%3%93SILES_CALC%3%81REOS)

GIRALDO PARRA, C. Fecha de Búsqueda, Febrero 10, 2026. **Cocolitofóridos y nanofósiles calcáreos.** https://www.academia.edu/5826279/COCOLIT%3%93FOROS_Y_NANOF%3%93SILES_CALC%3%81REOS

HOLCOVA, K.; PAVLIS, W.; RACKO, J. 2019. **Use of artificial intelligence to identify nanoplankton species.** INA 17, Santos, Brazil, September 15 – 20, 2019. <https://ina.tmsoc.org/meetings/INA17Santos/abstracts/Holcova%20et%20al%202019%20INA17%20Abstract.pdf>

HOSHINO, T.; TAIRA, Y.; SAITOU, H.; HAGINO, K.; ONADERA, J.; ITAKI, T.; YAMAGUCHI, T.; INAGAKI, F. 2017. **Automated microfossil classification by image recognition and machine learning to develop an AI system for age-dating.** JpGU-AGU Joint Meeting 2017. [https://www.academia.edu/145066103/Automated microfossil classification by image recognition and machine learning to develop an AI system for age dating](https://www.academia.edu/145066103/Automated_microfossil_classification_by_image_recognition_and_machine_learning_to_develop_an_AI_system_for_age_dating)

LORENTE, M. A.; De RINCON, J. T.; MOREAN, O.; WRIGHT, T. B. 1990. **Process and system for digital analysis of images applied to stratigraphic data.** Patent number: 4918739. <https://patents.justia.com/inventor/maria-a-lorente>

MAARTINI, E. 1971. **Standard Tertiary and Quaternary calcareous nanoplankton zonation.** In: A. Farinacci (ed.), Proceedings II Planktonic Conference, Roma, 1970, (2), pp. 739 – 785.

MELINTE, M. C. 2004. **Calcareous nanoplankton, a tool to assign environmental changes.** Geo-Eco-Marina, National Institute of Marine Geology and Geo-ecology

Modern and Ancient Fluvial, Deltaic and Marine Environments and Processes Proceedings of Euro-EcoGeoCentre-Romania. <https://geocomar.ro/website/publicatii/Nr.9-10-2004/21.pdf>

Nannotax. <https://www.mikrotax.org/Nannotax3/>

Nannotax 3. References. **Artificial intelligence used for automatic detection of calcareous nannofossils.** SYRACO https://www.mikrotax.org/system/references.php?mode=formatted+list&moduleSet=Nannotax3&field=abv_ref&search=%&order_by=authors&topic=all&page=1

PERCH-NIELSEN, K. 1979. **Calcareous nannofossils from the Cretaceous between the North Sea and the Mediterranean.** IUGS Series A, (6), pp. 223 -272.

PEREZ N, C.A. & CASTRO MORA, M. 1996. **SIADEN.** Memorias IV Jornadas de Informática, Marzo 1996, Intevp S.A.

SISSINGH, W. 1977. **Biostratigraphy of Cretaceous calcareous nanoplankton.** Geol. Mijnbouw 56, (1), pp. 37 -65.

YOUNG, J.; GEISEN, M.; CROS, L.; KLEIJNE, A.; SPRENGEL, C.; PROBERT, I.; OSTERGAARD, J. 2003. **A guide to extant coccolithophore taxonomy.** Journal of Nanoplankton Research Special Issue 1. [https://ina.tmsoc.org/JNR/online/SpecialIssue/Young%20et%20al.%202003%20JNRSpecial%20Extant%20Taxonomy%20Guide%20\[C2%A7N587\].pdf](https://ina.tmsoc.org/JNR/online/SpecialIssue/Young%20et%20al.%202003%20JNRSpecial%20Extant%20Taxonomy%20Guide%20[C2%A7N587].pdf)

Zhao, H.; Hu, B.; Ma, C.; Jiang, S.; Zhang, I.; Li, X.; Chen, L.; Cai, C.; Ye, L.; Zhou, S.; Wang, C. 2024. **A practical approach to building a calcareous nannofossil knowledge graph.** Geoscience Data Journal 2024. <https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/gdj3.279>

ZHANG, H.; YU, C.; JIANG, Z.; ZHAO, X. 2024. **A new method for identifying key fossil species in the Miocene Calcareous Nannofossil Zone: insights from deep convolutional neural networks.** Frontier Ecology Evolution, Sec. Paleontology, Volume 12, June 27, 2024. <https://www.frontiersin.org/journals/ecology-and-evolution/articles/10.3389/fevo.2024.1363423/full>