

ENVIROPORTS

INFORME DE VIGILANCIA TECNOLÓGICA

ANÁLISIS Y PREDICCIÓN DE
SERIES TEMPORALES DE
PARÁMETROS AMBIENTALES
Y SU INTERRELACIÓN CON
TRÁFICO MARÍTIMO EN EN-
TORNOS PORTUARIOS

Este informe ha sido elaborado por la Asociación Empresarial de Investigación Centro Tecnológico Naval y del Mar gracias al Convenio suscrito con el Instituto de Fomento de la Región de Murcia con el apoyo del fondo FEDER.



Autores: M^a Ángeles García, Paula Gómez, Eduardo Madrid, Rosa Martínez e Ivan Felis

Más info: www.ctnaval.com



**Fondo Europeo de
Desarrollo Regional**

**"Una manera de
hacer Europa"**

© CTN, 2021

Todos los derechos están reservados. Se autoriza la reproducción total o parcial de este informe con fines educacionales, divulgativos y no comerciales citando la fuente. La reproducción para otros fines está expresamente prohibida sin el permiso de los propietarios del copyright.

Índice de contenidos

1. Introducción	4
2. Metodología.....	5
3. Sustainable Blue Economy	7
4. Estado del arte	7
4.1. El idea de Green Ports	8
4.2. Análisis y predicción de reconstrucción de rutas y de tiempos de llegada de tráfico marítimo	10
4.3. Análisis y predicción de series temporales de parámetros ambientales.....	11
4.4. Análisis de causalidad a partir de series temporales: interrelaciones en un sistema complejo	13
4.5. Métodos de optimización y paralelización de procesado	15
4.6 Nivel de innovación para el sector	17
5. Tendencias.....	20
5.1. Literatura científica	20
5.1.1. Análisis de tendencias en la literatura.....	35
5.2. Proyectos	42
5.2.1. Análisis gráfico de la financiación	46
6. Bibliografía.....	49

1. Introducción

Este informe, elaborado por el equipo del Centro Tecnológico Naval y del Mar, tiene como finalidad ofrecer al tejido empresarial una mejora en el conocimiento del entorno que permita detectar tendencias y desarrollar estrategias adecuadas, basadas en niveles superiores de certidumbre a través de la captación y divulgación de información y conocimiento de importancia estratégica en los ámbitos social, tecnológico y económico, que incidan en la detección de nuevas oportunidades de desarrollo regional.

Los contenidos de este informe están estrechamente relacionados con el desarrollo del proyecto *Investigación de técnicas de análisis y predicción de series temporales de parámetros ambientales y su interrelación con tráfico marítimo en entornos portuarios*.

En este proyecto se aplican **técnicas de predicción** de series temporales a **parámetros ambientales** relevantes del entorno portuario. Se buscan aquellos modelos más adecuados para cada caso, considerando la integración de estos para potenciar su precisión. Las distintas técnicas se testearán con datos de tráfico marítimo obtenidos de fuentes AIS (Sistemas de Identificación Automática) disponibles para el proyecto en, al menos, un ámbito de un área portuaria.

Para la ejecución de EnviroPorts, se implementan algoritmos de **computación en paralelo**, con el fin de explotar las características del servidor de procesamiento del CTN, una labor de gran importancia dada la cantidad de datos con la que se va a trabajar.

Para la realización de este informe se han aplicado técnicas de Vigilancia Tecnológica, una herramienta al servicio de las empresas y organizaciones que permite detectar oportunidades y amenazas aportándoles ventajas competitivas y fundamentos para la toma de decisiones estratégicas mediante la selección y análisis de información de diversos tipos (científica, tecnológica, comercial, de mercado, social...).



Para ello, se parte de una introducción metodológica sobre las técnicas y fases de la Vigilancia Tecnológica que se han aplicado para el desarrollo del informe. A continuación, se introduce la Economía Azul como iniciativa europea con el fin de contextualizar los contenido temáticos

del informe. Seguidamente se realiza un análisis del estado de la técnica, proyectos y literatura científica. Por último, se incluyen las fuentes que se han manejado para la realización de este informe.

2. Metodología

La vigilancia tecnológica se entiende como una “forma organizada, selectiva y permanente de captar información del exterior sobre tecnología, analizarla y convertirla en conocimiento para tomar decisiones con menor riesgo y poder anticiparse a los cambios” [1]. Su finalidad última es generar ventajas competitivas para la empresa ya que le proporciona datos para:

Para el desarrollo de la Vigilancia Tecnológica el primer paso es plantear los aspectos básicos [2]:

¿Cuál es el objeto de la vigilancia? ¿Qué debemos vigilar? ¿Qué información buscar? ¿Dónde localizarla?

Cuando el objetivo de la VT está claramente delimitado, se procede a planificar la estrategia de búsqueda. Para el despliegue de esta fase conviene tener en cuenta que la información puede presentarse de dos formas: estructurada y no estructurada. La primera es propia de las bases de datos, conjuntos de datos homogéneos, ordenados de una forma determinada, que se presenta en forma legible por ordenador [3]. Su uni-

dad es el registro –o ficha de un artículo científico o una patente– que presenta la información ordenada en campos: autor, título, fecha de publicación, titular de la patente, inventores, etc. En cambio, la información no estructurada se presenta en textos sin un formato determinado (noticias de periódicos, sitios web, blogs, correos elec-

trónicos) cuyo tratamiento requerirá de nuevas herramientas capaces de “leer” y analizar estos textos. Estas herramientas



Detectar nuevas oportunidades



Descubrir nuevos aliados



Conocer la competencia



Identificar nuevos clientes



Controlar las amenazas



Encontrar alternativas de financiación

son útiles también para analizar la información de textos completos de artículos científicos o de patentes. Hoy se considera que el texto es la mayor fuente de información y conocimiento para las empresas. [4].

Tras la selec-

La finalidad de la Vigilancia Tecnológica es generar ventajas competitivas para la empresa

ción de las palabras clave se automatiza la búsqueda en función de las diferentes tipologías de fuentes a utilizar, se lanza la misma y se filtran los resultados en términos de pertinencia, fiabilidad, relevancia, calidad y capacidad de contraste [1].

Una vez comprobada la calidad de la información, los métodos de análisis han de garantizar su valor para la explotación de los mismos [5]. El objetivo del análisis es transformar la información en bruto recogida en un producto con alto valor añadido. A partir de aquí, la aportación de los expertos es

crítica para crear información avanzada, para generar conocimiento. Pasamos de una masa ingente de información en distintos formatos y lugares a una etapa en la que se captura la información más relevante, se organiza, indexa, almacena, filtra y, finalmente, con la opinión del experto que aporta en este punto del proceso un máximo valor añadido [6].

A continuación, se incluye un esquema con las distintas fases de la metodología empleada durante la generación de este informe.



3. Sustainable Blue Economy

La Sustainable Blue Economy es el nuevo enfoque que da la Unión Europea a la Economía Azul para incorporarla de pleno derecho a los esfuerzos que van a marcar el rumbo de la economía europea en los próximos años: el Pacto Verde Europeo y el Plan de Recuperación para Europa.

Es una manera de ver la economía que subraya la necesidad de invertir en investigación e innovación para conseguir que las actividades económicas en el sector marítimo reduzcan su impacto en el medio marino, contribuyendo así a la mitigación del cambio climático, con el fin de lograr el objetivo de convertir a Europa en el primer continente climáticamente neutro en el mundo en 2050.

El programa Horizonte Europa, junto a instrumentos de financiación como el Fondo Europeo Marítimo, garantizan una base sólida en ciencia e innovación enfocada en:

- Preservar y restaurar los mares y océanos y eliminar la contaminación.
- Controlar el uso de los recursos que se obtienen de mares y océanos para uti-

lizarlos de manera más sostenible y renovable.

- Adaptación a las consecuencias del cambio climático.
- Cómo utilizar los recursos oceánicos para mitigar el cambio climático.
- Impulsar la innovación y ayudar a empresas del sector marítimo para fomentar la economía circular y las soluciones sostenibles.

Puedes ampliar información sobre la economía azul en nuestro observatorio tecnológico.

El informe de vigilancia tecnológica se centra en el desarrollo de técnicas y tecnologías 4.0 como solución a varios de los temas prioritarios marcados por la estrategia europea Blue Economy.



4. Estado del arte

A continuación, se presenta el concepto de **Green Ports** como solución a la sostenibilidad de los puertos, entendiendo este término como un mayor grado de conocimiento del impacto de las actividades portuarias relacionadas con el tráfico marítimo en el medio ambiente. Para ello, se ha profundizado en el estudio de las relaciones entre predicción del tráfico marítimo en puertos y los parámetros de calidad ambiental. El fin es implementar métodos de optimiza-

El estado del arte recoge la situación de una determinada tecnología: lo más innovador o reciente con respecto a un arte específico

ción basados en algoritmos que ayuden al procesamiento de esta información.

4.1 El idea de Green Ports

Los puertos son considerados como infraestructuras nacionales críticas e importantes para el desarrollo económico. Estas autoridades portuarias están siendo presionadas para poner solución al negativo impacto ambiental y social de sus actividades.

El concepto de **Green Ports** surge a raíz del discurso político de las organizaciones marítimas internacionales al abordar las preocupaciones de **sostenibilidad ambiental y social** relacionadas con los puertos, y por el que los actores involucrados, tanto en la gestión y operaciones portuarias como en responsables políticos, usuarios y comunidades locales, se comprometen a mantener un comportamiento responsable y a lograr un

alto nivel de competitividad ambiental^{1,2}. En este sentido, se han llevado a cabo diferentes iniciativas, estrategias y estudios desde organismos internacionales, europeos, autoridades portuarias o grupos de trabajo científico para la regulación de la sostenibilidad y reducción de los impactos ambientales en los puertos marítimos de todo el mundo o para la identificación de externalidades negativas de las actividades de envío y transporte³.

Green Port:
La sostenibilidad es su eje principal. Pretende un equilibrio entre la sociedad, la economía y el medioambiente para lograr puertos más integrados con la ciudad y con el medioambiente.

Además, tal y como ocurre en el mercado y la sociedad actual, en la industria portuaria también convergen digitalización-sostenibilidad. De esta forma, se integran oportunidades y desafíos mediante la automatización y conectividad para la mejora del desempeño ambiental y la resiliencia climática de la actividad portuaria. Es un

campo donde las nuevas tecnologías digitales potencian la innovación en sostenibilidad, acercándonos así a otro concepto relacionado: *Smart Ports*, puertos que apuestan por aprovechar el uso de tecnología para mejorar y modernizar el transporte marítimo de mercancías y logística portuaria.

Según informes de UNCTAD⁴, más del 80% del comercio mundial se realiza en puertos marítimos. Por lo tanto, la infraestructura portuaria debe tener la capacidad de conectar la logística global con las industrias nacionales y regionales a través de su integración con las ciudades^{5,6}. Sin embargo, aunque el transporte marítimo es una de las principales fuentes para la economía de las ciudades portuarias, también provoca externalidades ambientales como contaminación del agua o generación de ruido, residuos y polvo, siendo la más relevante la emisión de **contaminantes atmosféricos**, que ocasiona efectos adversos so-

1. Lawer, E. T., Herbeck, J., & Flitner, M. (2019). Selective adoption: How port authorities in Europe and West Africa engage with the globalizing "green port" idea. *Sustainability (Switzerland)*, 11(18). <https://doi.org/10.3390/su11185119>

2. Pavlic, B., Cepak, F., Sucic, B., Peckaj, M., & Kandus, B. (2014). Sustainable port infrastructure, practical implementation of the green port concept. *Thermal Science*, 18(3), 935–948. <https://doi.org/10.2298/TSCI1403935P>

3. Chang, C. C., & Wang, C. M. (2012). Evaluating the effects of green port policy: Case study of Kaohsiung harbor in Taiwan. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 17(3), 185–189. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2011.11.006>

4. UNCTAD. (2017). Review of maritime transport

5. Monios, J., Bergqvist, R., & Woxenius, J. (2018). Port-centric cities: The role of freight distribution in defining the port-city relationship. *Journal of Transport Geography*, 66, 53–64.

6. Xiao, Z., & Lam, J. (2017). A systems framework for the sustainable development of a Port City: A case study of Singapore's policies. *Research in Transportation Business & Management*, 22, 255–262.

bre la salud humana y el medio marino en las zonas residenciales costeras⁷. Es cierto que la calidad del aire está mejorando por el cambio en el uso de combustible de los barcos. Según el informe de *Transport & Environment*⁸ en 2017, sólo en Europa, se llegaron a emitir alrededor de 62 kt de SO_x, 155 kt de NO_x, 10 kt de PM y más de 10 Mt de CO₂. Además, diferentes estudios resaltan el valor perjudicial de los gases y partículas que quedan en suspensión para el bienestar social, ya que pueden derivar en graves problemas de salud. A nivel ambiental, pueden producir fenómenos como eutroficación del agua o lluvia ácida⁹.

En consecuencia, se han llevado a cabo diferentes iniciativas, estrategias y políticas para la regulación de la sostenibilidad y reducción de los impactos ambientales en los puertos marítimos de todo el mundo^{10,11}, desde organismos internacionales como la IMO (*International Maritime Organization*) o la ECA (*Emission Control Areas*), hasta organismos europeos como ESPO (*European Sea Ports Organisation*), cuyo objetivo es mejorar las políticas medioambientales en los puertos europeos¹² a través de la fundación EcoPorts¹³; o las políticas ecológicas y de gestión portuaria ambiental para identificar el impacto negativo entre las actividades marítimas desarrolladas por diferentes autoridades portuarias para la identifica-

ción de impactos negativos que producen las actividades marítimas¹⁴. Otros ejemplos de estas iniciativas son: fondos LIFE para la consecución de la certificación EMAS en puertos; PROYECTO INDAPORT - Sistema de Indicadores Ambientales para Puertos, Financiado por el Programa de Fomento de la Investigación Tecnológica (PROFIT) del Ministerio de Ciencia y Tecnología; PROYECTO HADA - Herramienta Automática de Diagnóstico Medioambiental (Financiado por el Programa LIFE de la UE); y el proyecto Green and Connected Ports (GREEN C PORTS), financiado por el Programa Connecting Europe Facility (CEF) de la Comisión Europea.

En este sentido, queda bien reflejada la relación entre las diferentes dimensiones que afectan en el desarrollo global del sector marítimo, como son la dimensión económica, social, institucional y medioambiental. No obstante, la **falta de disponibilidad de metodologías** para evaluar el impacto de las acciones de las instituciones y empresas en cada dimensión de la sostenibilidad, sigue siendo un problema sin resolver y, aunque las autoridades portuarias son conscientes de ello y siguen abordando este problema, el diseño de estrategias que contribuyan a la sostenibilidad está aún en el aire.

7. Davarzani, H., Fahimina, B., Bell, M., & Sarkis, J. (2016). Greening ports and maritime logistics: A review. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 48, 473-487

8. Transport & Environment. (2019). One Corporation to Pollute Them All.

9. Tang, L., Ramacher, M., Moldanová, J., Matthias, V., Karl, M., & Johansson, L. et al. (2020). The impact of ship emissions on air quality and human health in the Gothenburg area – Part I: 2012 emissions. *Chem. Phys. Discuss.*, 2020, 1–36. <https://doi.org/10.5194/acp-2020-94>

10. Acciaro, M., Vanelander, T., Sys, C., Ferrari, C., Roumboutsos, A., Giulliano, G., . . . Kapros, S. (2014). Environmental sustainability in seaports: A framework for succesful innovation. *Maritime Policy & Management*, 41(5), 480-500

11. Merico, E., Gambaro, A., A.Argirou, A.Alebic-Juretic, E.Barbaro, D.Cesari, . . . S.Dimopoulos. (2017). Atmospheric impact of ship traffic in four Adriatic-Ionian port-cities: Comparison and harmonization of different approaches. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 50, 431-445.

12. Gonzalez Aregall, M., Bergqvist, R., & Monios, J. (2018). A global review of the hinterland dimension of green ports strategies. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 59, 22-34.

13. EcoPorts. (2021, 05 07). EcoPorts: Green Your Ports. Retrieved from EcoPorts: <https://www.ecoport.com/>

14. Bergqvist, R., & Egels-Zandén, N. (2012). Green port dues — The case of hinterland transport. *Research in Transportation Business & Management*, 5, 85-91.

4.2 Análisis y predicción de reconstrucción de rutas y de tiempos de llegada de tráfico marítimo

En los últimos años se han producido grandes cambios en la gestión de datos y en la toma de decisiones gracias, en gran parte, al crecimiento experimental en producción y generación de información. Por este motivo, se ha decidido apostar por nuevas tecnologías y técnicas que permitan **mejorar la gestión logística** de los puertos, así como reducir el impacto que el crecimiento de las flotas marítimas genera en el medio marino¹⁵.

El aumento del número de embarcaciones y del tráfico marítimo ha producido una cierta presión hacia las autoridades portuarias con respecto a la gestión logística de los puertos, sobre todo en los tiempos de llegada y salida de los barcos. La **predicción del tiempo de llegada** es uno de los principales indicadores de la eficiencia en los puertos, tanto del punto de vista medioambiental como logístico. En este sentido, encontramos en la literatura diversos estudios en relación, por ejemplo, con la optimización de la programación de atraques, predicción de retrasos en las cadenas logísticas de los puertos o con la predicción de tiempos de llegada y destino^{16,17,18}.

En referencia a las últimas investigaciones sobre tecnologías, se puede observar cómo, en su gran mayoría, para alcanzar la predicción de los tiempos de llegada, se debe de realizar un proceso de **análisis y reconstrucción de los datos** previo a la propia predicción. Las investigaciones sobre este proceso no son muy abundantes y son muy genéricas¹⁹ (limitándose a eliminar vectores con elementos clave en blanco), por lo que para aplicarlas a casos particulares o si se pretende realizar un cribado de los datos, las soluciones han de ser por cuenta propia. No obstante, sí existen estudios interesantes acerca de la mejora de precisión en la recepción de datos AIS mediante antenas²⁰.

En cuanto a la reconstrucción de datos, las referencias tampoco ofrecen detalles muy concretos acerca del algoritmo o la parametrización de modelos, exceptuando el estudio sobre predicción de rutas a partir de métodos bayesianos basados en filtros de partículas en el que se incluye un análisis y reconstrucción de las rutas de tráfico para mejorar la calidad en la predicción de la posición del barco²¹.

15. (UNCTAD), U. N. (2020). Review of Maritime Transport 2019. Geneva, 2019: United Nations.

16. Dulebenets, M. (2017). Application of evolutionary computation for berth scheduling at marine container terminals: Parameter tuning versus parameter control. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 19(1), 25-37.

17. Dávila de León, A., Lalla-Ruiz, E., Melián-Batista, B., & Moreno-Vega, J. (2017). A machine learning based system for berth scheduling at bulk terminals. In Expert Systems with Applications. 2017.

18. Zhang, Y., & Haghani, A. (2015). A gradient boosting method to improve travel time prediction. Transportation Research Part C: Emerging Technology, 58, 308-324.

19. Expósito, Á. O. (2020). Deep Learning & Graph Clustering for Maritime Logistics : Predicting Destination and Expected Time of Arrival for Vessels Across Europe.

20. Marco, S. M., & Rodelgo Lacruz, M. (2017). Estudio y optimización de un sistema de inteligencia artificial para el análisis de tráfico marítimo y aéreo empleando datos AIS y ADS-B. <http://calderon.cud.uvigo.es/handle/123456789/176>

21. Mazzarella, F., Arguedas, V. F., & Vespe, M. (2015, December 4). Knowledge-based vessel position prediction using historical AIS data. 2015 Workshop on Sensor Data Fusion: Trends, Solutions, Applications, SDF 2015. <https://doi.org/10.1109/SDF.2015.7347707>

4.3 Análisis y predicción de series temporales de parámetros ambientales

El estudio de la dinámica de parámetros ambientales puede observarse desde dos perspectivas, bien por los **modelos basados en teorías** (e.j., modelos físicos²²) o por los **modelos basados en datos**²³. En los últimos años, se está apostando por los modelos híbridos²⁴ (e.j., Aprendizaje automático guiado por modelos físicos) para tratar de resolver los problemas de cada planteamiento. Los modelos basados en teorías son capaces de capturar la realidad física de forma muy precisa, suelen ser computacionalmente muy costosos, por lo que implementarlos a resoluciones finas puede resultar impracticable. Mientras que los modelos basados en datos han demostrado resultar prometedores. Una **serie temporal** es una colección de datos ordenados en el tiempo, que describe la evolución temporal de una cierta variable. El análisis de las series temporales busca **extraer información útil** a partir de estos datos, habitualmente a través del ajuste de modelos. Además de obtener conocimiento acerca de la dinámica del parámetro descrito en la serie temporal, nos permite **elaborar predicciones** acerca del comportamiento futuro de la misma. Aunque el número de modelos diferentes

Serie temporal: colección de datos ordenados en el tiempo que describe la evolución de una variable

que se han implementado para el análisis y para la predicción, de las series temporales es vasto, pueden clasificarse en un grupo reducido de clases, entre las que destacan:

Métodos “tradicionales”: habitualmente denominados estadísticos (esto puede causar confusión con los métodos basados en ML, pues también se basan en última instancia en técnicas fundamentalmente estadísticas en muchos casos) requieren conocimiento de la distribución de datos para elaborar modelos predictivos. Este grupo puede, a su vez, dividirse en dos subgrupos de modelos en función de su complejidad matemática: los modelos de suavizado exponencial, y los modelos ARIMA (*Autoregressive Integrated Moving Average*²⁵). En este proyecto, este tipo de modelos han sido aplicados tanto en predicción de parámetros de calidad del aire²⁶ como del agua²⁷ en los últimos años.

22.. Shao, Y., Wyrwoll, K. H., Chappell, A., Huang, J., Lin, Z., McTainsh, G. H., ... Yoon, S. (2011, March). Dust cycle: An emerging core theme in Earth system science. *Aeolian Research*. <https://doi.org/10.1016/j.aeolia.2011.02.001>

23. Reichstein, M., Camps-Valls, G., Stevens, B., Jung, M., Denzler, J., Carvalhais, N., & Prabhat. (2019). Deep learning and process understanding for data-driven Earth system science. *Nature*, 566(7743), 195–204. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-0912-1>

24. Willard, J. D., Jia, X., Xu, S., Steinbach, M., & Kumar, V. (2020). Integrating physics-based modeling with machine learning: A survey. *ArXiv*, 1(1), 1–34

25. Montgomery, D. C., Jennings, C. L., & Kulahci, M. (2015). *Introduction to Time Series Analysis and Forecasting* (2nd ed.). Wiley.

26. Lee, M. H., Rahman, N. H. A., Suhartono, Latif, M. T., Nor, M. E., & Kamisan, N. A. B. (2012). Seasonal ARIMA for forecasting air pollution index: A case study. *American Journal of Applied Sciences*, 9(4), 570–578. <https://doi.org/10.3844/ajassp.2012.570.578>

27. Hernández, N., Camargo, J., Moreno, F., Torres, A., & Plazas-Nossa, L. (2017). Arima as a forecasting tool for water quality time series measured with UV-Vis spectrometers in a constructed wetland. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 8(5), 127–139. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2017-05-09>

28. Parmezan, A. R. S., Souza, V. M. A., & Batista, G. E. A. P. A. (2019). Evaluation of statistical and machine learning models for time series prediction: Identifying the state-of-the-art and the best conditions for the use of each model. *Information Sciences*, 484, 302–337. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2019.01.076>



Métodos basados en aprendizaje automático: estos métodos, que no requieren de conocimiento previo de la distribución de datos, pueden dividirse en métodos globales o locales, en función de si usan información de todo el pasado de la serie temporal o no para construir el modelo²⁸. En los últimos años, este tipo de métodos han atraído mucha atención por la irrupción del aprendizaje automático (ML) en diversos campos de la ciencia. Recientemente, se han utiliza-

do técnicas de ML y de aprendizaje profundo (DL) para la predicción de parámetros ambientales de masas de agua^{29,30}, de contaminación del aire^{31,32}, así como del agua en granjas de acuicultura^{33,34}, o de crecimiento desmedido³⁵ de algas, entre otras aplicaciones.

Otros métodos (dinámica no lineal de sistemas): por último, destacan los modelos basados en espacio de fases, que se han utilizado para estudiar series temporales no lineales desde la década de 1980, presentando sus orígenes en la rama de la física de sistemas dinámicos no lineales. Se basan en la reconstrucción del espacio de fases del sistema estudiado³⁶. Sin embargo, solo se ha encontrado una publicación que investigue en predicción de series temporales de parámetros ambientales con este tipo de métodos³⁷.

28. Parmezan, A. R. S., Souza, V. M. A., & Batista, G. E. A. P. A. (2019). Evaluation of statistical and machine learning models for time series prediction: Identifying the state-of-the-art and the best conditions for the use of each model. *Information Sciences*, 484, 302–337. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2019.01.076>
29. Faraj, F., & Shen, H. (2018). Forecasting the Environmental Parameters of Water Resources Using Machine Learning Methods. *Annals of Advanced Agricultural Sciences*, 2(4). <https://doi.org/10.22606/as.2018.24003>.
30. Najah Ahmed, A., Binti Othman, F., Abdulmohsin Afan, H., Khaleel Ibrahim, R., Ming Fai, C., Shabbir Hossain, M., ... Elshafie, A. (2019). Machine learning methods for better water quality prediction. *Journal of Hydrology*, 578, 124084. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.124084>
31. Arsov, M., Zdravovski, E., Lameski, P., Corizzo, R., Koteli, N., Mitreski, K., & Trajkovic, V. (2020). Short-term air pollution forecasting based on environmental factors and deep learning models. *Proceedings of the 2020 Federated Conference on Computer Science and Information Systems, FedCSIS 2020*, (September), 15–22. <https://doi.org/10.15439/2020F211>
32. Freeman, B. S., Taylor, G., Gharabaghi, B., & Thé, J. (2018). Forecasting air quality time series using deep learning. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 68(8), 866–886. <https://doi.org/10.1080/10962247.2018.1459956>
33. Nguyen, P. H., Duong, Q. D., Luong, M. Van, & Chu, H. D. (2020). Designing Forecasting Parameter Algorithm of Environmental Shrimp Using Recurrent Neural Network. *Journal of Science and Technology: Issue on Information and Communications Technology*, 18(12.2), 8. <https://doi.org/10.31130/ict-ud.2020.104>
34. Shahriar, M. S., Rahman, A., & McCulloch, J. (2014). Predicting shellfish farm closures using time series classification for aquaculture decision support. *Computers and Electronics in Agriculture*, 102, 85–97. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2014.01.011>
35. Yu, P., Gao, R., Zhang, D., & Liu, Z. P. (2021). Predicting coastal algal blooms with environmental factors by machine learning methods. *Ecological Indicators*, 123, 107334. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107334>
36. Bradley, E., & Kantz, H. (2015). Nonlinear time-series analysis revisited. *Chaos*, 25(9). <https://doi.org/10.1063/1.4917289>
37. Huang, T., Han, X., & Jinsuo, L. (2008). Chaos prediction method based on Lyapunov Exponent and its application in water Quality forecast. *Journal of Xi'an University of Architecture and Technology*.

4.4 Análisis de causalidad a partir de series temporales: interrelaciones en un sistema complejo

En la actualidad, existen diversos métodos para estudiar causalidad en sistemas, que llamaremos de **inferencia causal**, y que van desde las técnicas más tradicionales de Granger hasta los modelos estructurales causales, pasando por las redes causales de aprendizaje o los métodos de espacio fásico no lineal³⁸.

Para analizar las relaciones en ciencia de sistemas terrestres se utilizan técnicas basadas en correlación y regresión unidimensional de fácil aplicación y bastante utilidad. Estas técnicas proporcionan poca información sobre las causas que subyacen la dinámica estos sistemas. Los métodos de inferencia causal, a diferencia, pueden superar algunas de las principales deficiencias de estos enfoques, por lo que son los que se investigan en este proyecto.

Existen cuatro tipos principales de métodos de inferencia causal:

- **Causalidad de Granger:** el test de causalidad de Granger discrimina si al eliminar información acerca del pasado de una variable (y otras covariables) incrementa el error de predicción en la siguiente iteración de la variable supuestamente dependiente.
- **Modelos estructurales causales:** desarrollados por Pearl, combinan características de los modelos de ecuación estructural usados en ciencias sociales y económicas, los modelos causales de Rubin y los modelos gráficos para análisis causal y probabilístico. No han sido significativamente aplicados en estudios similares.
- **Aprendizaje de redes causales:** usadas para reconstruir modelos gráficos de causalidad a gran escala (a veces llamados modelos gráficos causales), pueden incorporar el orden temporal como una restricción (causa precede a efecto) y utilizar una serie de reglas

38. Runge, J., Bathiany, S., Bollt, E., Camps-Valls, G., Coumou, D., Deyle, E., ... Zscheischler, J. (2019). Inferring causation from time series in Earth system sciences. *Nature Communications*, 10(1), 1–13. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-10105-3>

39. Zhu, J. Y., Sun, C., Member, S., & Li, V. O. K. (2017). An Extended Spatio-temporal Granger Causality Model for Air Quality Estimation with Heterogeneous Urban Big Data, 7790(c), 1–13. <https://doi.org/10.1109/TBDATA.2017.2651898>

40. Ma, X., Wang, L., Wu, H., Li, N., Ma, L., Zeng, C., & Zhou, Y. (2015). Impact of Yangtze River Water Transfer on the Water Quality of the Lixia River, 1–16. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0119720>

de orientación causal para identificar direccionalidad causal. Como sucedía con el anterior método, han sido poco usados⁴¹ en investigaciones de la misma índole que aquí se proponen.

- **Métodos basados en espacio de fases:** estos métodos asumen que las interacciones ocurren en un sistema dinámico subyacente y tratan de descubrir las relaciones de causalidad mediante la reconstrucción del espacio de fases. Esta metodología se basa en la técnica CCM (Convergent Cross Mapping).

Existen diversas investigaciones sobre el impacto de las actividades portuarias, especialmente del tráfico marítimo, tanto en la calidad del aire^{42,43}, como del agua^{44,45}, aunque no se han encontrado casi trabajos que, explícitamente, traten la causalidad entre el tráfico marítimo y diversos parámetros ambientales, de una forma holística. Algunos de estos estudios estiman la causalidad entre el tráfico de cruceros y la contaminación del aire usando la inferencia basada en aleatorización⁴⁶, así como los que relacionan la contaminación atmosférica en Bar-

celona con el turismo de cruceros⁴⁷.

De estos métodos expuestos, en Enviroport se propone investigar particularmente los métodos basados en espacio de fases y los de Granger, dado que es de los métodos más utilizados. Estos métodos se aplican al análisis de la causalidad entre los datos (series espaciotemporales) de tráfico marítimo disponible y los datos (series temporales) de parámetros ambientales recogidos en la autoridad portuaria donde se realice el piloto. Estos parámetros ambientales provendrán de estaciones meteorológicas en tierra en el caso de parámetros ambientales del aire (CO₂, partículas en suspensión, etc.) o de estaciones en boyas en el caso de parámetros ambientales del agua (pH, clorofila, turbidez, etc.).



41. Zhu, J. Y., Zhi, S., & Li, V. O. K. (n.d.). p-Causality : Identifying Spatiotemporal Causal Pathways for Air Pollutants with Urban Big Data.

42. Viana, M., Hammingh, P., Colette, A., Querol, X., Degraeuwe, B., Vlieger, I. de, & van Aardenne, J. (2014). Impact of maritime transport emissions on coastal air quality in Europe. *Atmospheric Environment*. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.03.046>

43. Merico, E., Donato, A., Gambaro, A., Cesari, D., Gregoris, E., Barbaro, E., ... Contini, D. (2016). Influence of in-port ships emissions to gaseous atmospheric pollutants and to particulate matter of different sizes in a Mediterranean harbour in Italy. *Atmospheric Environment*, 139, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.05.024>

44. Hassellöv, I. M., Turner, D. R., Lauer, A., & Corbett, J. J. (2013). Shipping contributes to ocean acidification. *Geophysical Research Letters*, 40 (11), 2731–2736. <https://doi.org/10.1002/grl.50521>

45. Teuchies, J., Cox, T. J. S., Van Itterbeeck, K., Meysman, F. J. R., & Blust, R. (2020). The impact of scrubber discharge on the water quality in estuaries and ports. *Environmental Sciences Europe*, 32(1). <https://doi.org/10.1186/s12302-020-00380-z>

46. Zabrocki, L., Leroutier, M., & Bind, M.-A. (2021). Estimating the Causal Effects of Cruise Traffic on Air Pollution using Randomization-Based Inference. <https://doi.org/https://doi.org/10.31219/osf.io/v7ctk>

47. Ruiz-Guerra, I., Molina-Moreno, V., Cortés-García, F. J., & Núñez-Cacho, P. (2019). Prediction of the impact on air quality of the cities receiving cruise tourism: the case of the Port of Barcelona. *Heliyon*, 5(3). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01280>

4.5 Métodos de optimización y paralelización de procesamiento

Hoy en día, la gran cantidad de datos que se obtienen es tan abrumadora que las técnicas tradicionales de tratamiento de datos son incapaces de gestionarla, almacenarla, procesarla o presentarla. En este sentido, el campo de la **computación de alto rendimiento** o *High Performance Computing (HPC)*, nace de la necesidad de resolver problemas computacionales complejos que aborden el análisis de grandes cantidades de datos y requieran una gran velocidad y unas prestaciones óptimas⁴⁸. A tal efecto, la computación de alto rendimiento no solo se basa en la cantidad de núcleos (potencia del procesador (hardware) en cuestión o número de computadoras en el clúster), sino que también considera los algoritmos (software) que hacen uso de estos, ya que ha de estar diseñado con el objetivo de aprovechar al máximo su rendimiento a través de la computación en paralelo⁴⁹.



A continuación, se describen brevemente algunas de las soluciones disponibles hoy en día para implementar entornos de computación paralelizados. Por otro lado, dado que el lenguaje de programación que se ha utilizado en este proyecto es Python, la siguiente discusión se enmarca bajo el dominio de dicho lenguaje.

El nivel más bajo de paralelización que existe actualmente se encuentra en la escala de los núcleos, mediante la denominada vectorización, un paradigma de paralelización a nivel de instrucción y que consiste en realizar operaciones lógicas en diferentes elementos de un vector simultáneamente. En más detalle, los núcleos de procesamiento de una CPU actual contienen registros vectoriales en los cuales se puede implementar la tecnología SIMD (Single Instruction Multiple Data), caracterizados por un ancho de bit (número de bits que pueden alojar y operar simultáneamente), típicamente del orden de 256 o 512 bits. Estos registros vectoriales permiten operar en múltiples elementos simultáneamente, logrando mejoras en velocidad muy considerables. Por ejemplo, una CPU con un registro de 512 bits podría sumar 8 números en coma flotante en doble precisión (64 bits cada uno) en una sola operación, tardando por tanto unas 8 veces menos en realizarla que uno

48. Giles, M. B., & Reguly, I. (2014). Trends in high-performance computing for engineering calculations. In *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences* (Vol. 372, Issue 2022). Royal Society. <https://doi.org/10.1098/rsta.2013.0319>

49. McCool, M., Robison, A. D., & Reinders, J. (2012). *Structured Parallel Programming: Patterns for Efficient Computation*.

sin SIMD (equivalentemente, que admita 64 bits, en este caso).

En Python, la librería Numpy representa la vanguardia en implementación de vectorización en código, si bien existen otras librerías con que también es posible implementar este tipo de paralelización, como Numba.

Subiendo a una escala mayor, a nivel de procesador, la paralelización se realiza mediante procesos o hilos, mediante el multiprocesado y multihilado, respectivamente. Con estas dos técnicas se utilizan los múltiples núcleos de un procesador moderno de forma más eficiente, puesto que, en pocas palabras, permiten aplicar instrucciones (mismas o diferentes) a datos (ídem) simultáneamente. En Python, existen diversas herramientas que permiten aplicar estas técnicas, como Dask, Numba, o la librería nativa de `concurrent.futures`.

Por otro lado, cabe mencionar la convergencia que existe entre las arquitecturas HPC y la inteligencia artificial (IA), pues la computación de alto rendimiento genera grandes volúmenes de datos mientras que la IA necesita de una base de datos considerable para la correcta ejecución de sus algoritmos. Esto puede observarse a través del concepto de Big Data. En este aspecto, la IA (incluyendo el aprendizaje automático y el aprendizaje profundo) tiene el potencial de

impulsar las aplicaciones HPC para producir capacidades y rendimiento superiores⁵⁰. Por lo tanto, los beneficios que esta unión pueden aportar (y están aportando actualmente) queda patente tanto por el incremento del rendimiento como en el aumento en la accesibilidad⁵¹ en procesos de HPC e IA que producen, como por el aumento en la accesibilidad. Sin embargo, no conviene olvidar el papel fundamental que tiene en esta convergencia la optimización del código y, por ende, la computación en paralelo⁵².

En Enviroports, se implementan de los algoritmos identificados, que van desde la reconstrucción de rutas, la predicción de los tiempos de llegada de los barcos al puerto, hasta la predicción de los parámetros medioambientales contaminantes en entornos portuarios, sobre una arquitectura multiprocesado en los múltiples núcleos del servidor del CTN, a través de técnicas de computación en paralelo en las dos escalas destacadas previamente (de máquina y núcleo).



50. Dongarra, J., Grigori, L., & Higham, N. J. (2020). Numerical algorithms for high-performance computational science. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 378(2166). <https://doi.org/10.1098/rsta.2019.0066>

51. Gonzalez, D., Alfonso Estevez, C., Sebastian Leon, J. R., & Galvan, N. (n.d.). Artificial intelligence and high performance computing for solve high complexity problems.

52. De Brouwer, P. (2020). The Big R Book. In *The Big R Book*. Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781119632757>

4.6 Nivel de innovación para el sector

Nivel nacional

La predicción de parámetros ambientales se ha investigado extensamente a escala internacional, particularmente en la última década, destacando notablemente el estudio de parámetros de calidad del aire⁵³ y del agua⁵⁴. En este sentido, se ha visto que el impacto del tráfico marítimo en el medio ambiente también ha suscitado un considerable interés en la comunidad científica.

Asimismo, en relación con la sostenibilidad y resiliencia climática de los puertos, tanto a nivel global como en Europa, se pueden encontrar diferentes iniciativas y programas que pretenden hacer frente a esta problemática impulsando la investigación para el desarrollo, intercambio y aplicación del conocimiento climático para el bienestar social, como por ejemplo el Programa Mundial de Investigaciones Climáticas (WCRP)⁵⁵. O como el Programa Mundial de Sostenibilidad de Puertos (WPSP)⁵⁶ impulsado por la Asociación Internacional de Puertos y Bahías (IAPH), cuyo objetivo es demostrar el liderazgo global de los puertos en la contribución a los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas.

Además del cumplimiento de la restrictiva normativa ambiental correspondiente a la industria portuaria, cada vez, son más nu-

merosos los puertos adheridos a certificaciones que acreditan la disposición y compromiso a la mejora continua en su desempeño ambiental con Sistemas de Gestión Ambiental como la internacional ISO 14001 y la europea EMAS (recibiendo el puerto de Cartagena, en 2019, el premio EMAS para micro y pequeñas organizaciones públicas). A nivel sectorial, ESPO – EcoPorts ofrece un estándar específico del sector, la certificación PERS -Ports Environmental Review System.

Otras iniciativas voluntarias encontradas en el marco de la sostenibilidad en puertos son la participación en la UN Global Compact para la implementación de los Objetivos de Desarrollo Sostenible y planes de Responsabilidad Social Corporativa aplicando sus propios indicadores. A su vez, los puertos adscritos a EcoPorts reciben asesoramiento e intercambio de información sobre mejores prácticas en materia ambiental. Asimismo, estos puertos ejercen un efecto multiplicador influyendo en las empresas usuarias y colaboradoras que acaban adquiriendo compromisos medioambientales.

Por otro lado, a nivel europeo, se están llevando a cabo diferentes proyectos surgidos, en su gran mayoría, a raíz de las iniciativas anteriores y que se encuadran tanto en la evaluación y gestión de los posibles impac-

53. Rybarczyk, Y., & Zalakeviciute, R. (2018, December 11). Machine learning approaches for outdoor air quality modelling: A systematic review. *Applied Sciences* (Switzerland). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/app8122570>

54. Aldhyani, T. H. H., Al-Yaari, M., Alkahtani, H., & Maashi, M. (2020). Water Quality Prediction Using Artificial Intelligence Algorithms. *Applied Bionics and Biomechanics*, 2020. <https://doi.org/10.1155/2020/6659314>

55. World Climate Research Programme (WCRP). (n.d.). Retrieved May 5, 2021, from <https://www.wcrp-climate.org/>

56. World Port Sustainability Program. (n.d.). Retrieved May 5, 2021, from <https://sustainableworldports.org/>

tos del cambio climático en puertos como ECCLIPSE⁵⁷ o CRISI- ADAPT II⁵⁸, como en la predicción de parámetros ambientales y de calidad del agua a través de herramientas predictivas basadas en modelos de inteligencia artificial, como por ejemplo los proyectos, InventWater⁵⁹, USMILE⁶⁰, MARmaED⁶¹, EuroSea⁶² entre otros.

Además, escuchando las prioridades ambientales del sector, el consorcio de ESPO-EcoPorts ha destacado entre su top 10 la calidad del aire como la principal, que se ha mantenido durante 8 años. La segunda prioridad es el Cambio Climático y la calidad del agua ha ascendido hasta la séptima posición.

Asimismo, respecto a la predicción de parámetros ambientales, se han realizado diversos trabajos similares a nivel nacional, tanto de parámetros de calidad del aire, como del agua, destacando los aplicados de nuevo en la zona de la Bahía de Algeciras, estos no se han correlacionado explícitamente con el tráfico marítimo, hasta donde conocemos. En este proyecto, se ha realizado un piloto para abordar esta cuestión con datos reales de una autoridad portuaria.

Además, siguiendo las directrices que marca la Comisión Europea con respecto a la

sostenibilidad en puertos y el concepto de “Green Ports”, en España se pueden encontrar diversos grupos de investigación en relación, como el liderado por la Dra. Verónica Nieves (Universidad Politécnica de Valencia), AI4OCEANS; el Instituto Mediterraneo de Estudios Avanzados (IMEDEA); o investigadores como Gustau Camps-Valls (UPV), que centran sus investigaciones en la extracción de conocimiento de datos empíricos y extraídos por sistemas físicos sensoriales. Además, autoridades portuarias nacionales como la Autoridad Portuaria de Valencia y la de Vigo, están muy implicadas en la consecución de puertos sostenibles, de ahí su participación en diferentes proyectos,, incluyendo los mencionados en el punto anterior (CRISI-ADAPT II y ECCLIPSE), así como la adopción de la ciencia de datos como herramienta motora de la digitalización de sus servicios. El proyecto se alinea con estas iniciativas punteras de innovación nacional, consolidando futuros trabajos en esta línea de I+D.

Nivel regional

A escala regional, la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia también impulsa iniciativas dentro del marco de la sostenibi-

57. ECCLIPSE (2019-2022). Evaluación del Cambio CLimático en Puertos del Sudoeste de Europa. Financiado por: Programa Interreg Sudoe a través del Fondo Europeo de Desarrollo Regional (ERDF). <https://ecclipse.eu/>

58. CRISI-ADAPT II (2019-2022). Climate Risk Information for SupportIng ADAPtation Planning and operaTion. Financiado por: Instituto europeo de Innovación y Tecnología (IEIT). Climate KIC. <https://www.crisi-adapt2.eu/>

59. InventWater (2021-2025). Inventive forecasting tools for adapting water quality management to a new climate. Financiado por Horizon 2020. <https://cordis.europa.eu/project/id/956623>

60. USMILE (2020-2026). Understanding and Modelling the Earth System with Machine Learning. Financiado por Horizon 2020. <https://www.usmile-erc.eu/>

61. MARmaED (2015-2019). Marine Management and Ecosystem Dynamics under Climate Change. Financiado por Horizon 2020. <https://www.marmaed.uio.no/>

62. EuroSea (2019-2023) Improving and Integrating European

alidad en puertos. Ha sido creado en 2020 un distintivo de “puertos sostenibles” y en esta misma línea, el Puerto de Cartagena ha recibido este año el premio a la Responsabilidad Social Corporativa en Medio Ambiente en la décima edición de los Premios de Desarrollo Sostenible y Cambio Climático de la Región de Murcia.

Sin embargo, no se han realizado estudios publicados de predicción de tráfico marítimo en puertos de la Región de Murcia hasta donde sabemos, por lo que el proyecto adquiere un carácter disruptivo en este sentido. No obstante, el reciente interés del Puerto de Cartagena en esta temática, como se refleja en el visor GIS (en desarrollo) del que disponen, y en el que, entre otras cosas, se pueden consultar las predicciones de embarcaciones a atracar en las dársenas, indica que es un campo de estudio con un relevante impacto e interés.

En cuanto a predicción de parámetros am-

bientales, se han publicado muy pocos trabajos de índole similar relacionados con calidad del aire⁷³, o del agua, destacando un caso aplicado en el Mar Menor⁷⁴ recientemente, en concreto, con la clorofila A como variable objetivo. En cualquier caso, no se han encontrado trabajos publicados relacionados con la calidad del agua o aire en entornos portuarios y, menos aún, por tanto, trabajos que relacionen el tráfico marítimo con dichos parámetros en la Región, por lo que el grado de innovación a esta escala es significativo.

De forma transversal, la participación y asistencia del CTN en diferentes congresos sobre el papel y los retos actuales de la inteligencia artificial en la industria actual^{75,76}, el impacto del ruido submarino radiado del transporte marítimo⁷⁷, impulsa al CTN a liderar esta línea de trabajo puntera a nivel regional.

73. Martínez, R., Bueno-Crespo, A., Timón, I., Soto, J., Muñoz, A., & Cecilia, J. M. (2018). Air-pollution prediction in smart cities through machine learning methods: A case of study in Murcia, Spain. *Journal of Universal Computer Science*, 24(3), 261–26.

74. Jimeno-Sáez, P., Senent-Aparicio, J., Cecilia, J. M., & Pérez-Sánchez, J. (2020). Using Machine-Learning Algorithms for Eutrophication Modeling: Case Study of Mar Menor Lagoon (Spain). *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(4), 1189. <https://doi.org/10.3390/ijerph17041189>

75. Jornadas “Retos actuales de la Inteligencia Artificial”. IEEE Sección España (<https://ieeespain.org/jornadas-retos-actuales-de-la-inteligencia-artificial/>)

76. EU – Webinar: IP and Artificial Intelligence – Advanced (Eupean Commission, IP Helpdesk). https://intellectual-property-helpdesk.ec.europa.eu/news-events/events/eu-webinar-ip-and-artificial-intelligence-advanced_en

77. Webinar on underwater radiated noise from shipping. Federal Public Service. Health, Food Chain Safety and Environment. <https://www.health.belgium.be/en/agenda/webinar-underwater-radiated-noise-shipping>

5. Tendencias

5.1 Literatura científica

Environmental sustainability in seaports: A framework for succesful innovation

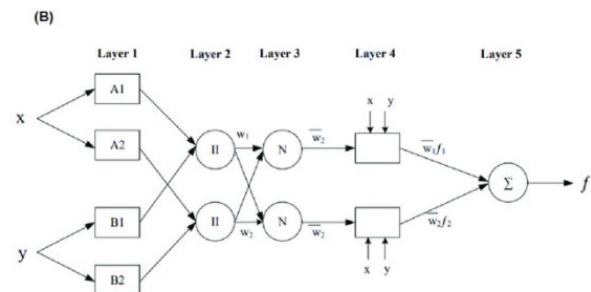
Autor: Michele Acciaro, Thierry Vanelslander, Christa Sys, Claudio Ferrari, A. Roumboutsos, Giuliano, Jasmine Siu Lee Lam, Kapros,

Publicado en: Maritime Policy & Management 41(5):480-500. DOI: 10.1080/03088839.2014.932926

Abstract: Environmental sustainability in the port industry is of growing concern for port authorities, policy makers, port users and local communities. Innovation can provide a solution to the main environmental issues, but often meets resistance. While certain types of technological or organisational innovation can be satisfactorily analysed using closed system theories, in the case of seaports and in particular in the area of environmental sustainability, more advanced conceptual frameworks have to be considered. These frameworks need to be able to account for the multiple stakeholder nature of the port industry and of the network and vertical interactions that environmental sustainability calls for. This article investigates successful innovations improving environmental sustainability of seaports. The proposed framework builds in part on research concepts developed in the InnoSuTra EU FP7 project. From a methodological perspective, this article develops a method for quantifying the degree of success of innovation with respect to a

set of specific objectives. Several case studies are used to test the framework against real innovation examples, such as onshore power supply, or alternative fuels. In this article, we argue that only those innovations that fit dynamically port actors' demands and the port institutional environment stand a chance to succeed.

Water Quality Prediction Using Artificial Intelligence Algorithms



Autor: T.H. Aldhyani, Mashel S. Maashi.

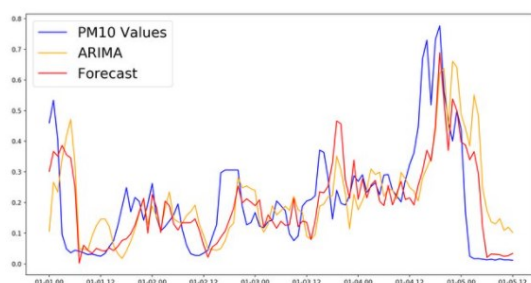
Publicado en: Applied Bionics and Biomechanics. DOI:10.1155/2020/6659314

Abstract: During the last years, water quality has been threatened by various pollutants. Therefore, modeling and predicting water quality have become very important in controlling water pollution. In this work, advanced artificial intelligence (AI) algorithms are developed to predict water quality index (WQI) and water quality classification (WQC). For the WQI prediction, artificial neural network models, namely non-linear autoregressive neural network (NARNET) and long short-term memory (LSTM) deep learning algorithm, have been developed. In addition, three machine

learning algorithms, namely, support vector machine (SVM), K-nearest neighbor (K-NN), and Naive Bayes, have been used for the WQC forecasting. The used dataset has 7 significant parameters, and the developed models were evaluated based on some statistical parameters. The results revealed that the proposed models can accurately predict WQI and classify the water quality according to superior robustness. Prediction results demonstrated that the NARNET model performed slightly better than the LSTM for the prediction of the WQI values and the SVM algorithm has achieved the highest accuracy (97.01%) for the WQC prediction. Furthermore, the NARNET and LSTM models have achieved similar accuracy for the testing phase with a slight difference in the regression coefficient (RNARNET = 96.17% and RLSTM = 94.21%). This kind of promising research can contribute significantly to water management.

Short-term air pollution forecasting based on environmental factors and deep learning models

Autor: Mirche Arsov, Eftim Zdravevski,



Petre Lameski, Roberto Corizzo, Nikola Koteli, Kosta Mitreski, Vladimir Trajkovik.

Publicado en: Conference: 15th CONFERENCE ON COMPUTER SCIENCE AND INFORMATION SYSTEMS FedCSIS 2020. DOI:

10.15439/2020F211

Abstract: The effects of air pollution on people, the environment, and the global economy are profound-and often under-recognized. Air pollution is becoming a global problem. Urban areas have dense populations and a high concentration of emission sources: vehicles, buildings, industrial activity, waste, and wastewater. Tackling air pollution is an immediate problem in developing countries, such as North Macedonia, especially in larger urban areas. This paper exploits Recurrent Neural Network (RNN) models with Long Short-Term Memory units to predict the level of PM10 particles in the near future (+3 hours), measured with sensors deployed in different locations in the city of Skopje. Historical air quality measurements data were used to train the models. In order to capture the relation of air pollution and seasonal changes in meteorological conditions, we introduced temperature and humidity data to improve the performance. The accuracy of the models is compared to PM10 concentration forecast using an Auto-regressive Integrated Moving Average (ARIMA) model. The obtained results show that specific deep learning models consistently outperform the ARIMA model, particularly when combining meteorological and air pollution historical data. The benefit of the proposed models for reliable predictions of only 0.01 MSE could facilitate preemptive actions to reduce air pollution, such as temporarily shutting main polluters, or issuing warnings so the citizens can go to a safer environment and minimize exposure.

Green port dues — The case of hinterland transport

Autor: Rickard Bergqvist, Niklas Egels-Zadén.

Publicado en: Project: Port Initiated Incentives and Fees for more Sustainable Transport -an Hinterland Perspective. DOI: 10.1016/j.rtbm.2012.10.002

Abstract: As the economy becomes increasingly specialised and globalised, the importance of logistics also increases. For global transportation systems, seaports play a key role as transshipment hubs. As seaports incorporate and coordinate hinterland logistic activities within the activities of the port, the strategies they employ influence the decisions made by both local and global logistic service providers. From an environmental and social perspective, seaports are thus key actors in transportation systems, and many ports have also developed corporate social responsibility (CSR) strategies. This paper examines one such strategy – green port dues – and shows how the integration of hinterland logistics and ports opens the possibility for differentiated port dues to be used as a tool to internalise external cost in the transportation systems and ensure the effectiveness of hinterland transport.

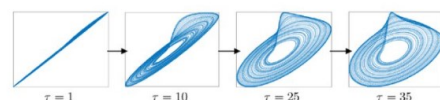
Nonlinear time-series analysis revisited

Autor: Elisabeth Bradley, Holger Kantz.

Publicado en: Chaos (Woodbury, N.Y.) 25(9). DOI: 10.1063/1.4917289

Abstract: In 1980 and 1981, two pioneering papers laid the foundation for what became known as nonlinear time-series analysis : the analysis of observed data—

typically univariate—via dynamical systems theory. Based on the concept of state-space reconstruction, this set of methods allows us to compute characteristic quantities such as Lyapunov exponents and fractal dimensions, to predict the future course of the time series, and even to reconstruct the equations of motion in some cases. In practice, however, there are a number of issues that restrict the power of this approach: whether the signal accurately and thoroughly samples the dynamics, for instance, and whether it contains noise. Moreover, the numerical algorithms that we use to instantiate these ideas are not perfect; they involve approximations, scale parameters, and finite-precision arithmetic, among other things. Even so, nonlinear time-series analysis has been used to great advantage on thousands of real and synthetic data sets from a wide variety of systems ranging from roulette wheels to lasers to the human heart. Even in cases where the data do not meet the mathematical or algorithmic requirements to assure full topological conjugacy, the results of nonlinear time-series analysis can be helpful in understanding, characterizing, and predicting dynamical systems.

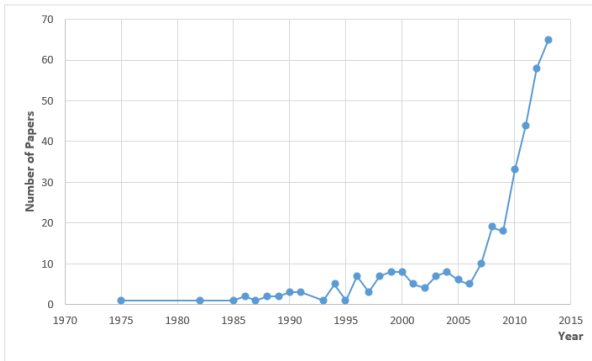


Greening ports and maritime logistics: A review

Autor: Hoda Davarzani, Behman Fahimnia,

Michael Bell, Joseph Sarkis.

Publicado en: Transportation Research Part D: Transport and Environment. Volumen 48. Octubre 2016, páginas 473-487. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2015.07.007>



Abstract: This paper aims to examine the past and present research on ‘green ports and maritime logistics’ in order to identify established research streams and fertile research areas with potential for future investigations. Using rigorous bibliometric and network analysis tools, the paper completes a systemic mapping of the existing literature and identifies the key investigators, collaboration patterns, research clusters and interrelationships, and the “seminal research areas” that have provided the field with the foundational knowledge, concepts, theories, tools, and techniques. Major articles within each seminal research area are also identified. This will allow new researchers to quickly build understanding in a particular sub-field by reading these major articles. The findings obtained from the evolution of seminal research areas over time are important from both research and practice perspectives and can help the field grow in many dimensions.

A Machine Learning-based system for berth scheduling at bulk terminals

Autor: Alan Dábila de León, Eduardo Lalla-Ruiz, Belén Melian, J. Marcos Moreno-Vega.

Publicado en: Expert Systems with Applications 87:170-182. DOI: 10.1016/j.eswa.2017.06.010

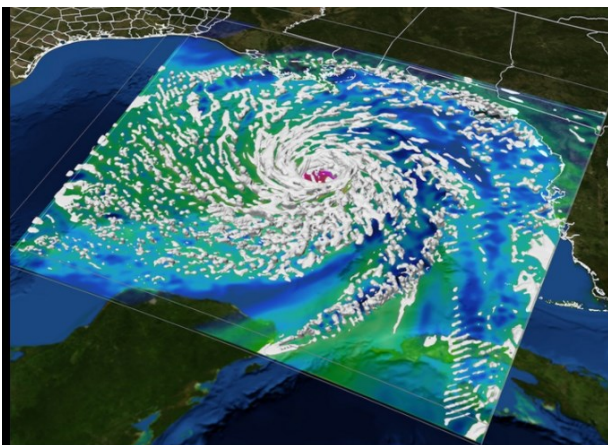
Abstract: The increasing volume of maritime freight is presented as a challenge to those skilled terminal managers seeking to maintain or increase their market share. In this context, an efficient management of scarce resources as berths arises as a reasonable option for reducing costs while enhancing the productivity of the overall terminal. In this work, we tackle the berth scheduling operations by considering the Bulk Berth Allocation Problem (Bulk-BAP). This problem, for a given yard layout and location of the cargo facilities, aims to coordinate the berthing and yard activities for giving service to those vessels arriving at the terminal. Considering the multitude of scenarios arising in this environment and the No Free Lunch theorem, the drawback concerning the selection of the best algorithm for solving the Bulk-BAP in each particular case is addressed by a Machine Learning-based system. It provides, based on the scenario at hand, a ranking of algorithms sorted by appropriateness. The computational study shows an increase in the quality of the provided solutions when the algorithm to be used is selected according to the features of the instance instead of selecting the best algorithm on average.

Numerical algorithms for high-performance computational science. Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences

Autor: Jack Dongarra, Laura Grigori, Nicholas J. Highman

Publicado en: Philosophical Transactions of The Royal Society A Mathematical Physical and Engineering Sciences 378 (2166):20190066. DOI: 10.1098/rsta.2019.0066

Abstract: A number of features of today's high-performance computers make it challenging to exploit these machines fully for computational science. These include increasing core counts but stagnant clock frequencies; the high cost of data movement; use of accelerators (GPUs, FPGAs, coprocessors), making architectures increasingly heterogeneous; and multiple precisions of floating-point arithmetic, including half-precision. Moreover, as well as maximizing speed and accuracy, minimizing energy consumption is an important criterion. New generations of algorithms are needed to tackle these challenges. We discuss some approaches that we can take to develop numerical algorithms for high-performance computational science, with a view to exploiting the next generation of supercomputers. This article is part of a discussion meeting issue 'Numerical algorithms for high-performance computational science'



Application of evolutionary computation for berth scheduling at marine container terminals: Parameter tuning versus parameter control

Autor: Maxim A. Dulebenets

Publicado en: IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems PP(99):1-13. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems PP(99):1-13

Abstract: Considering a substantial increase in the international seaborne containerized trade volumes, marine container terminal operators have to improve efficiency of the processes inside their terminals in order to meet the growing demand. An efficient berth scheduling is of a high importance for the terminal's performance, as it significantly influences the turnaround time of vessels. This paper proposes a novel Evolutionary Algorithm to assist with berth scheduling at marine container terminals that, unlike published to date studies on berth scheduling, applies a parameter control strategy. Specifically, an adaptive mechanism is developed for the mutation operator, in which the mutation rate is altered based on feedback from the search. The objective of the proposed mixed integer model aims to minimize the total weighted vessel service cost. A set of numerical experiments are conducted to assess performance of the developed algorithm based on a comparison against a typical Evolutionary Algorithm that applies a constant mutation rate value, determined from the parameter tuning analysis. Results indicate that the optimality gap does not exceed 0.80% for both algorithms. Furthermore, deployment of the adaptive mecha-

nism for the mutation operator yields an average of 5.4% and 8.5% savings in terms of the total weighted vessel service cost for medium and large size problem instances, respectively, without a significant increase in the computational time.

A SVM-based regression model to study the air quality at local scale in Oviedo urban area (Northern Spain): A case study

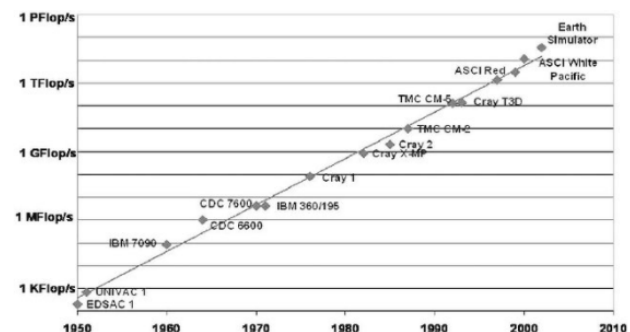
Autor: P.J. García Nieto, E.F. Combarro, J.J. del Coz Díaz, E. Montañés

Publicado en: Applied Mathematics and Computation, volume 219, issue 17, 2013, páginas 8923-8937.

Abstract: This research work presents a method of daily air pollution modeling by using support vector machine (SVM) technique in Oviedo urban area (Northern Spain) at local scale. Hazardous air pollutants or toxic air contaminants refer to any substances that may cause or contribute to an increase in mortality or in serious illness, or that may pose a present or potential hazard to human health. In this work, based on the observed data of NO, NO₂, CO, SO₂, O₃ and dust (PM₁₀) for the years 2006, 2007 and 2008, the support vector regression (SVR) technique is used to build the nonlinear dynamic model of the air quality in the urban area of the city of Oviedo (Spain). One main aim of this model was to make an initial preliminary estimate of the dependence between primary and secondary pollutants in the city of Oviedo. A second main aim was to determine the factors with the greatest bearing on air quality with a view to proposing health and lifestyle improve-

ments. It is well-known that the United States National Ambient Air Quality Standards (NAAQS) establishes the limit values of the main pollutants in the atmosphere in order to ensure the health of healthy people. They are known as the criteria pollutants. This SVR fit captures the prime idea of statistical learning theory in order to obtain a good forecasting of the dependence among the main pollutants in the city of Oviedo. Finally, on the basis of these numerical calculations using SVR technique, from the experimental data, conclusions of this study are exposed.

Trends in high-performance computing for engineering calculations



Autor: M. Giles, I. Reguly

Publicado en: Computer Science, Medicine Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences. DOI:10.1098/rsta.2013.0319

Abstract: High-performance computing has evolved remarkably over the past 20 years, and that progress is likely to continue. However, in recent years, this progress has been achieved through greatly increased hardware complexity with the rise of multicore and manycore processors, and this is affecting the ability of application developers to achieve the full potential of

these systems. This article outlines the key developments on the hardware side, both in the recent past and in the near future, with a focus on two key issues: energy efficiency and the cost of moving data. It then discusses the much slower evolution of system software, and the implications of all of this for application developers.

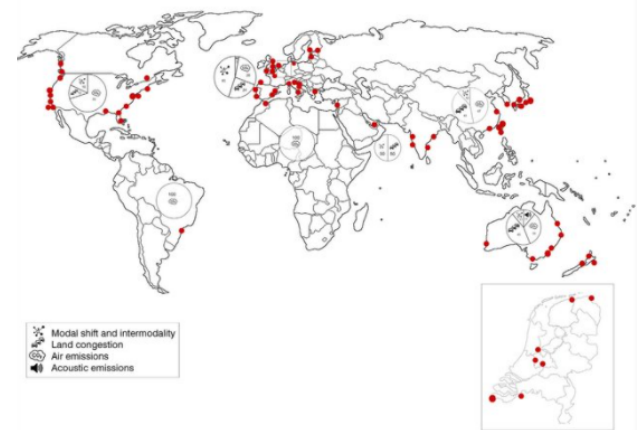
A global review of the hinterland dimension of green ports strategies

Autor: Marta González-Aregall, Ricard Bergqvist, Jason Monios

Publicado en: Transportation Research Part D Transport and Environment 59 (March 2018):23-34. DOI: 10.1016/j.trd.2017.12.013

Abstract: Despite a growing literature on strategies to reduce emissions and other externalities in shipping and ports, very little attention has been given to the port's role in reducing negative externalities in its hinterland. This paper addresses this gap by reviewing ports across the globe to identify which ports have implemented measures to improve the environmental performance of hinterland transport. Results show that only 76 out of 365 ports examined are doing so. The measures applied are identified, related to different goals and their challenges discussed. The most common measures are found to be technology improvements, infrastructure development and monitoring programmes, and the most advanced ports in green hinterland strategies are Rotterdam, Los Angeles/Long Beach and Hamburg, although many ports that are world leaders in green port strategies have not implemented measures in the hinterland dimension. Different port

groups are segmented according to their mix of goals and measures as a foundation for future research.

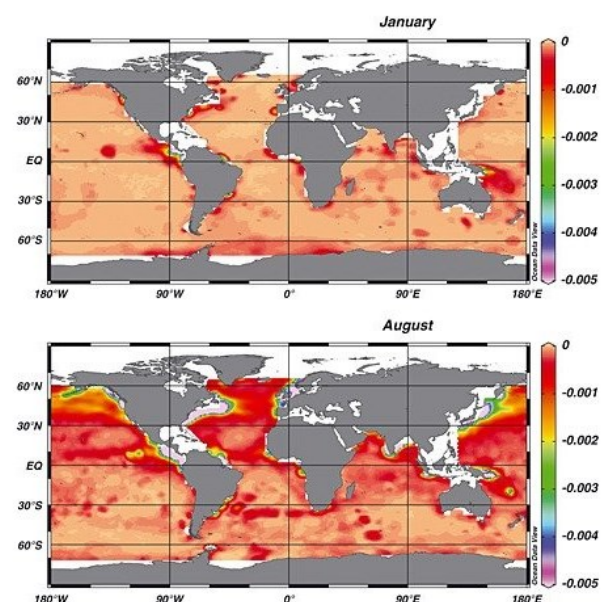


Shipping contributes to ocean acidification

Autor: Ida-Maja Hassellöv, David R. Turner, Axel Lauer, James J. Corbett.

Publicado en: Geophysical Research Letters 40(11):2731-2736. DOI: 10.1002/grl.50521

Abstract: potential effect on surface water pH of emissions of SOX and NOX from global ship routes is assessed. The results indicate that regional pH reductions of the same order of magnitude as the CO2-driven



acidification can occur in heavily trafficked waters. These findings have important consequences for ocean chemistry, since the sulfuric and nitric acids formed are strong acids in contrast to the weak carbonic acid formed by dissolution of CO₂. Our results also provide background for discussion of expanded controls to mitigate acidification due to these shipping emissions.

Arima as a forecasting tool for water quality time series measured with UV-Vis spectrometers in a constructed wetland

Autor: Nathalie Hernandez, Julio Camargo, Fredy Moreno, Leonardo Plazas-Nossa, Andrés Torres.

Publicado en: TECNOLOGIA Y CIENCIAS DEL AGUA 08(05):127-139. DOI: 10.24850/jtyca-2017-05-09

Abstract: Arima as a tool to predict water quality using time series recorded with UV-Vis spectrometers in a constructed wetland. Water Technology and Sciences (in Spanish), 8(5), 127-139. The prediction of water quality plays a crucial role in discussions about urban drainage systems, given that the integrated management of this resource is required in order to meet human needs. The present paper uses Arima (Autoregressive Integrated Moving Average) to predict influent and effluent water quality in a constructed wetland, as well as its pollutant removal efficiency. The wetland is located on the campus of the Pontificia Universidad Javeriana in Bogotá, Colombia. Arima prediction values were based on time series obtained with UV-Vis spectrometry probes. These predictions were found to be adequate for the first 12 hours of the water quality time series for the three data

sets analyzed: influent, effluent, and efficiency. Overall, none of the data had prediction errors over 15%. In separate analyses of the relative predictive errors in influent and effluent values, they were found to be less significant for UV wavelengths than for the visible range (Vis). In addition, the variability in this type of error was less for the UV range than for the Vis range, which indicates that Arima is a suitable prediction method for analyzing pollutants that fall in the UV range.

Chaos predication method based on Lyapunov Exponent and its application in water Quality forecast

Autor: Tinglin Huang, X.G. Han, Jinsuo Lu.

Publicado en: Journal of Xi'an University of Architecture and Technology

Abstract: Based on the fundamental chaos theory, the phase space reconstruction of raw water time series is discussed. And the related parameters of raw water time series in the new phase space, such as delay time τ , embedding dimension m , correlation dimension D and largest Lyapunov, are obtained by means of autocorrelation coefficient, classical G-P Algorithm and improved maximal Lyapunov exponent method. Moreover at the condition of $\tau=5$, $m=9$, $D=4.4891$ and $\lambda_1=0.0242$, the oxygen demand values of raw water in Tianjin headwater plant from 1995 to 2003 are analyzed and predicted by chaotic prediction approach based on Lyapunov exponent. The example indicates that the variation of raw water quality has chaotic features and it is feasible to use chaos theory to predict short-term variation of the raw water quality.

Selective adoption: How port authorities in Europe and West Africa engage with the globalizing “green port” idea

Autor: Eric Tamatey Lawer, Johannes Herbeck, Michael Flitner

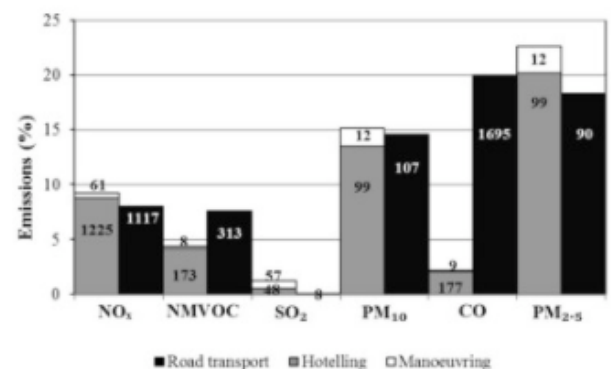
Publicado en: Sustainability 11(18):5119.
DOI: 10.3390/su11185119

Abstract: The scholarly debate on 'green ports' since it emerged in the policy discourse of international maritime organizations has largely focused on exploring the economic benefits associated with implementing related policies and developing green guides and codes of conduct for port authorities. In contrast, it has received little attention how the green port idea and according measures are taken up and what role is played by contextual factors in places of such uptake. By engaging with the expanding literature on policy mobilities and drawing on empirical information collected through interviews with port officials from four ports in Europe and West Africa, we argue that context-specific factors strongly influence what we call the selective adoption of green port tools and measures for transitioning ports towards sustainability. They include environmental priorities, regulatory requirements, financial resources and the immediate areas of competence of port authorities, which all vary widely across regions and specific ports.

Influence of in-port ships emissions to gaseous atmospheric pollutants and to particulate matter of different sizes in a Mediterranean harbour in Italy

Autor: E. Merico, A. Donateo, A. Gamro, D. Cesari, E. Gregoris, E. Barbaro, A. Dioni, G. Giovanelli, S. Masieri, D. Contini.

Publicado en: Atmospheric Environment, volumen 139, 2016, páginas 1-10.



Abstract: Ship emissions are a growing concern, especially in coastal areas, for potential impacts on human health and climate. International mitigation strategies to curb these emission, based on low-sulphur content fuels, have proven useful to improve local air quality. However, the effect on climate forcing is less obvious. Detailed information on the influence of shipping to particles of different sizes is needed to investigate air quality and climate interaction. In this work, the contributions of maritime emissions to atmospheric concentrations of gaseous pollutants (NO, NO₂, SO₂, and O₃) and of particles (sizes from 0.009 µm to 30 µm) were investigated considering manoeuvring (arrival and departure of ships) and hotelling phases (including loading/unloading activities). Results showed that the size distributions of shipping contributions were different for the two phases and could be efficiently described, using measured data, considering four size-ranges. The largest contribution to particles concentration was observed for D_p < 0.25 µm, however, a secondary maximum was observed at D_p = 0.35 µm. The minimum contribution was observed at D_p around 0.8–0.9 µm with a negligible contribution

from hotelling for size range 0.4–1 μm . The comparison of 2012 and 2014 datasets showed no significant changes of gaseous and particulate pollutant emissions and of the contribution to particle mass concentration. However, an increase of the contribution to particle number concentration (PNC) was observed. Results suggested that harbour logistic has a relevant role in determining the total impact of shipping on air quality of the nearby coastal areas. Additionally, future policies should focus on PNC that represents an important fraction of emissions also for low-sulphur fuels. DOAS remote sensing proved a useful tool to directly measure NO_2 and SO_2 ship emissions giving estimates comparable with those of emission inventory approach.

Atmospheric impact of ship traffic in four Adriatic-Ionian port-cities: Comparison and harmonization of different approaches

Autor: E.Mericoab, A.Gambarobc, A.Argirioud, A.Alebic-Juretice, E.Barbarobc, D.Cesaria, L.Chasapidisf, S.Dimopoulosd, A.Dinoia, A.Donateoa, C.Giannarosi, E.Gregoris, A.Karagiannidisd, A.G.Konstandopoulos, T.Ivošević, N.Lioraid, D.Melasi, B.Mifkae, D.Continia

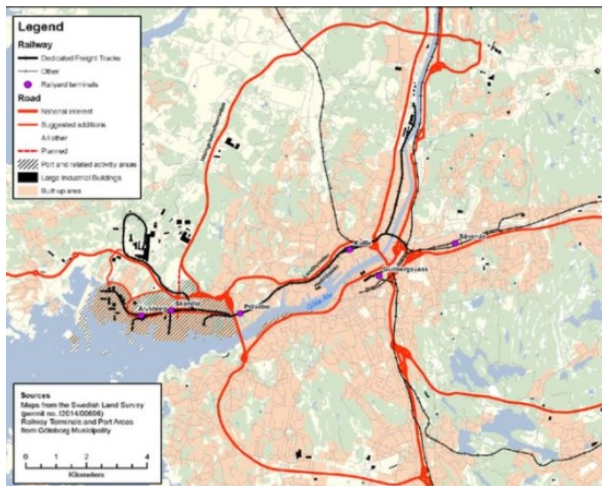
Publicado en: Transportation Research Part D: Transport and Environment, Volume 50, January 2017, Pages 431-445.



Abstract: Shipping is a growing transport sector representing a relevant share of atmospheric pollutant emissions at global scale. In the Mediterranean Sea, shipping affects air quality of coastal urban areas with potential hazardous effects on both human health and climate. The high number of different approaches for investigating this aspect limits the comparability of results. Furthermore, limited information regarding the inter-annual trends of shipping impacts is available. In this work, an approach integrating emission inventory, numerical modelling (WRF-CAMx modelling system), and experimental measurements at high and low temporal resolution is used to investigate air quality shipping impact in the Adriatic/Ionian area focusing on four port-cities: Brindisi and Venice (Italy), Patras (Greece), and Rijeka (Croatia). Results showed shipping emissions of particulate matter (PM) and NO_x comparable to road traffic emissions at all port-cities, with larger contributions to local SO_2 emissions. Contributions to $\text{PM}_{2.5}$ ranged between 0.5% (Rijeka) and 7.4% (Brindisi), those to PM_{10} were between 0.3% (Rijeka) and 5.8% (Brindisi). Contributions to particle number concentration (PNC) showed an impact 2–4 times larger with respect to that on mass concentrations. Shipping impact on gaseous pollutants are larger than those to PM. The contribution to total polycyclic aromatic hydrocarbon (PAHs) concentrations was 82% in Venice and 56% in Brindisi, with a different partition gas-particle because of different meteorological conditions. The inter-annual trends analysis showed the primary contribution to PM concentrations decreasing, due to the im-

plementation of the European legislation on the use of low-sulphur content fuels. This effect was not present on other pollutants like PAHs.

Port-centric cities: The role of freight distribution in defining the port-city relationship



Autor: Jason Monios, Rickard Bergqvist, Johan Woxenius.

Publicado en: Journal of Transport Geography 66. DOI: 10.1016/j.jtrangeo.2017.11.012

Abstract: The goal of this paper is to explore the intersection between two streams of literature: port cities and port-centric logistics. While many ports have moved out of city locations, partly facilitated by inter-modal corridors, some ports remain in city locations, many retaining a large share of distribution activity in or near the port. This paper will consider distribution challenges arising from the port-city dynamic in relation to the port-inland distribution axis, in particular the role of port and city planners and decision makers in managing this process. The case analysis is based on the Port of Gothenburg, the largest port in Scandinavia. Findings suggest that the majority of influencing factors are marginally

in favour of siting distribution facilities inland rather than near the port, yet city planning and national sentiment continue to incentivise development near the port. There are two conclusions for the port-centric city. First, it needs to coordinate its logistics from a regional perspective, determine what activities belong near the port and not compete with inland locations for what is better located there. Second, port-centric logistics needs to be better aligned with an urban freight transport and city logistics perspective. 50-day free access link: <https://authors.elsevier.com/a/1W6KL3RpEOBWtp> (valid until: 2018-01-14).

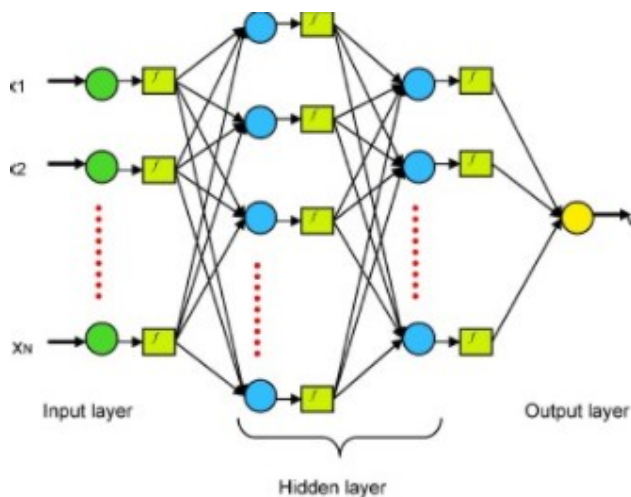
Machine learning methods for better water quality prediction

Autor: Ali Najah Ahmeda, Faridah Binti Othman, Haitham Abdulmohsin Afan, Rusul Khaleel Ibrahim, Chow Ming Faic, Shabbir Hossain, Mohammad Ehteram, Ahmed Elshafie.

Publicado en: Journal of Hydrology, Volume 578, November 2019, 124084.

Abstract: The goal of this paper is to explore the intersection between two streams of literature: port cities and port-centric logistics. While many ports have moved out of city locations, partly facilitated by inter-modal corridors, some ports remain in city locations, many retaining a large share of distribution activity in or near the port. This paper will consider distribution challenges arising from the port-city dynamic in relation to the port-inland distribution axis, in particular the role of port and city planners and decision makers in managing this process. The case analysis is based on the

Port of Gothenburg, the largest port in Scandinavia. Findings suggest that the majority of influencing factors are marginally in favour of siting distribution facilities inland rather than near the port, yet city planning and national sentiment continue to incentivise development near the port. There are two conclusions for the port-centric city. First, it needs to coordinate its logistics from a regional perspective, determine what activities belong near the port and not compete with inland locations for what is better located there. Second, port-centric logistics needs to be better aligned with an urban freight transport and city logistics perspective.



Designing Forecasting Parameter Algorithm of Environmental Shrimp Using Recurrent Neural Network

Autor: Phat Nguyen, Quynh Doung Diem, Minh Van Loung, Hoang Chuduc.

Publicado en: Designing Forecasting Parameter Algorithm of Environmental Shrimp Using Recurrent Neural Network

Abstract: With the strong development of science and technology, the study of technologies related to environmental forecasting is important. In recent years, the appli-

cation of smart technology in aquaculture has been widely applied. Based on the requirement, we focus on predicting the environmental parameters applied in shrimp farming, especially white shrimp, one of the seafood grown in our country. In the paper, we exploit a small branch of identification problem. This paper proposes an algorithm to predict changes in shrimp farm environmental parameters based on current parameters. The goal of the paper is to reduce the parameter of Recurrent Neural Network (RNN) while ensuring data accuracy. Experimental results show that the proposal algorithm improves up to 85 percent when selecting suitable learning factor of neural networks.



Evaluation of statistical and machine learning models for time series prediction: Identifying the state-of-the-art and the best conditions for the use of each model

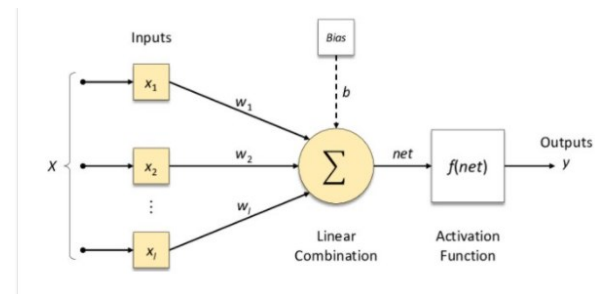
Autor: Antonio Rafael Sabino Parmezan, Vinicius Mourao Alves de Souza, Gustavo Enrique Batista.

Publicado en: Information Sciences. DOI: 10.1016/j.ins.2019.01.076.

Abstract: The choice of the most promising algorithm to model and predict a particular

phenomenon is one of the most prominent activities of the temporal data forecasting. Forecasting (or prediction), similarly to other data mining tasks, uses empirical evidence to select the most suitable model for a problem at hand since no modeling method can be considered as the best. However, according to our systematic literature review of the last decade, few scientific publications rigorously expose the benefits and limitations of the most popular algorithms for time series prediction. At the same time, there is a limited performance record of these models when applied to complex and highly nonlinear data. In this paper, we present one of the most extensive, impartial and comprehensible experimental evaluations ever done in the time series prediction field. From 95 datasets, we evaluate eleven predictors, seven parametric and four non-parametric, employing two multi-step-ahead projection strategies and four performance evaluation measures. We report many lessons learned and recommendations concerning the advantages, drawbacks, and the best conditions for the use of each model. The results show that SARIMA is the only statistical method able to outperform, but without a statistical difference, the following machine learning algorithms: ANN, SVM, and kNN-TSPI. However, such forecasting accuracy comes at the expense of a larger number of parameters. The evaluated datasets, as well detailed results achieved by different indexes as MSE, Theil's U coefficient, POCID, and a recently-proposed multi-criteria performance measure are available online in our repository. Such repository is another contribution of this paper since other researchers can rep-

licate our results and evaluate their methods more rigorously. The findings of this study will impact further research on this topic since they provide a broad insight into models selection, parameters setting, evaluation measures, and experimental setup.



Sustainable port infrastructure, practical implementation of the green port concept

Autor: Bostjan Pavlic, Franka Cepak, Boris Sucic, Marki Peckjac, Bogomil Kandus

Publicado en: Thermal Science 18(3):935-948. DOI: 10.2298/TSCI1403935P.

Abstract: The overall idea and research interest related with the development of sustainable port infrastructure evolved around the core requirements of continuous reduction of negative environmental impacts without jeopardising economic growth. The growth of trade activities and need for competitiveness on the global market are forcing ports around the world to systematically and continuously evaluate all possibilities for the optimisation and related costs reduction. On the implementation level, the greatest challenge is how to empower workers, who operate machines and work on the shop floor, to achieve enduring performance improvements. Presented research work provides a methodological approach for finding realistic solu-

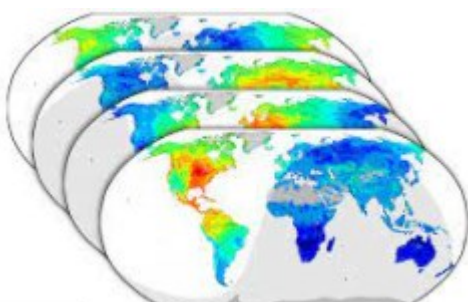
tions to the problem of the future development challenges of seaports. The case study shown in this research represents a practical application of the green port concept with the emphasis on the overall energy efficiency improvement based on testing, deployment and demonstration of energy efficient solutions. Additional emphasis was placed on the state-of-the-art technologies and developing pilot initiatives based on modern energy solutions designed to improve efficiency in fuel consumption and emissions reduction in rubber tired gantry cranes.

Deep learning and process understanding for data-driven Earth system science

Autor: M. Reichstein, G. Campus Valls, B. Stevens, M. Jung, Joachim Denzler, N. Carvalhais, Prabhat.

Publicado en:

Computer Science, Medicine, Nature, DOI:10.1038/s41586-019-0912-1



Abstract: Machine learning approaches are increasingly used to extract patterns and insights from the ever-increasing stream of geospatial data, but current approaches may not be optimal when system behaviour is dominated by spatial or temporal context. Here, rather than amending classical machine learning, we argue that these contextual cues should be used as part of deep learning (an approach that is

able to extract spatio-temporal features automatically) to gain further process understanding of Earth system science problems, improving the predictive ability of seasonal forecasting and modelling of long-range spatial connections across multiple time-scales, for example. The next step will be a hybrid modelling approach, coupling physical process models with the versatility of data-driven machine learning. Complex Earth system challenges can be addressed by incorporating spatial and temporal context into machine learning, especially via deep learning, and further by combining with physical models into hybrid models.

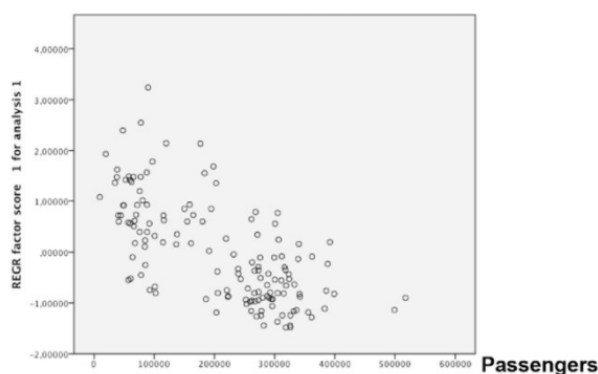
Prediction of the impact on air quality of the cities receiving cruise tourism: the case of the Port of Barcelona

Autor: Ignacio Ruiz-Guerraa, Valentín Molina-Moreno, Francisco J.Cortés-García, Pedro Núñez-Cacho

Publicado en: *Helveticum*, volume 5, issue 3, 2019, e01280. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01280>

Abstract: The cruise tourism industry has experienced significant growth in recent years and has a very positive outlook for the future. However, its environmental impact requires a review of its sustainability, including the analysis of its social, economic and environmental balance, and the evaluation of its impact on port cities receiving cruise ships. The purpose of this document is twofold: First, to analyze the relationship between air quality, as an environmental variable, and the volume of cruise ships and passengers that visit a port with the aim of generating information. Secondly, it is intended to develop an index,

based on the information already available that allows cities to predict the impact of this activity, so that decisions are made to alleviate these effects. **Methods:** The primary data taken monthly for the period 2006–2017, related to the level of emissions and the number of cruises and passengers, are used as a basis. A regression analysis is performed to determine the relationship between air pollution and the number of tourists coming from the cruise ships. As a contribution, the results show the influence of this type of tourism on environmental indicators. In addition, in an original way, a regression function is established that allows estimating the future impact of the cruise industry in the ports cities. So that, cities can prevent this type of environmental impact. This will make it easier for the cruise tourism industry to develop more sustainable models in the long term.



Machine Learning Approaches for Outdoor Air Quality Modelling: A Systematic Review

Autor: Y. Rybarczyk, R. Zakaevuciute.

Publicado en: Environmental Science. Applied Sciences. DOI:10.3390/APP8122570.

Abstract: Current studies show that traditional deterministic models tend to struggle to capture the non-linear relationship be-

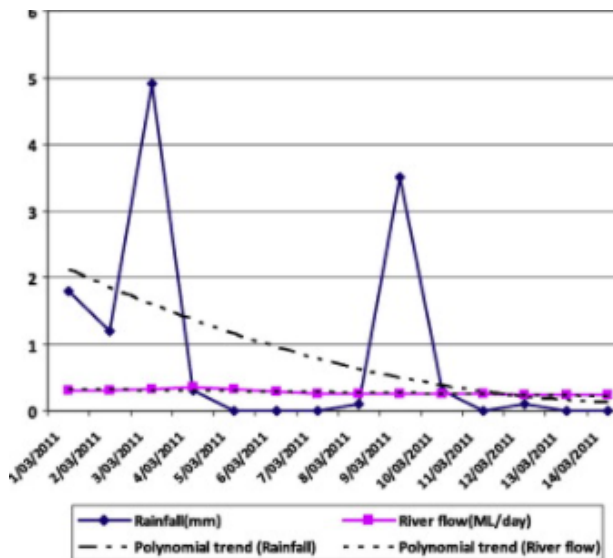
tween the concentration of air pollutants and their sources of emission and dispersion. To tackle such a limitation, the most promising approach is to use statistical models based on machine learning techniques. Nevertheless, it is puzzling why a certain algorithm is chosen over another for a given task. This systematic review intends to clarify this question by providing the reader with a comprehensive description of the principles underlying these algorithms and how they are applied to enhance prediction accuracy. A rigorous search that conforms to the PRISMA guideline is performed and results in the selection of the 46 most relevant journal papers in the area. Through a factorial analysis method these studies are synthesized and linked to each other. The main findings of this literature review show that: (i) machine learning is mainly applied in Eurasian and North American continents and (ii) estimation problems tend to implement Ensemble Learning and Regressions, whereas forecasting make use of Neural Networks and Support Vector Machines. The next challenges of this approach are to improve the prediction of pollution peaks and contaminants recently put in the spotlights (e.g., nanoparticles).

Predicting shellfish farm closures using time series classification for aquaculture decision support

Autor: Md. Sumon Shashriar, Ashfaque Rahman, John McCulloch.

Publicado en: Computers and Electronics in Agriculture 102:85–97. DOI: 10.1016/j.compag.2014.01.011.

Abstract: Closing a shellfish farm due to



pollutants usually after high rainfall and hence high river flow is an important activity for health authorities and aquaculture industries. Towards this problem, a novel application of time series classification to predict shellfish farm closure for aquaculture decision support is investigated in this research. We exploit feature extraction methods to identify characteristics of both univariate and multivariate time series to predict closing or re-opening of shellfish farms. For univariate time series of rainfall, auto-correlation function and piece-

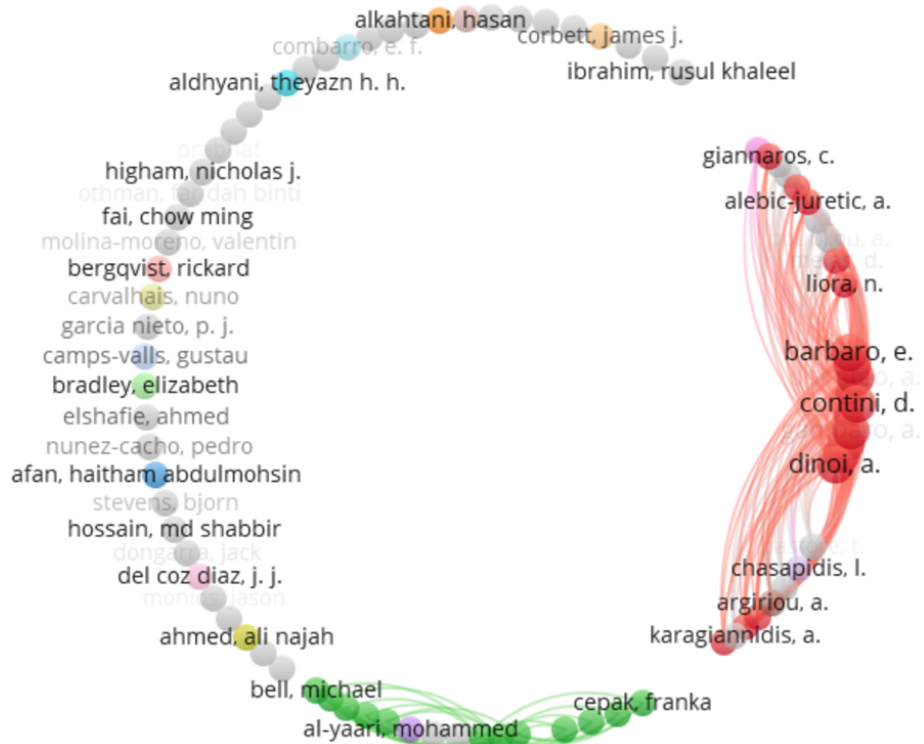
wise aggregate approximation feature extraction methods are used. In multivariate time series of rainfall and river flow, we consider features derived using cross-correlation and principal component analysis functions. Experimental studies show that time series without any feature extraction methods give poor accuracy of predicting closure. Feature extraction from rainfall time series using piecewise aggregate approximation and auto-correlation functions improve up to 30% accuracy of prediction over no feature extraction when a support vector machine based classifier is applied. Features extracted from rainfall and river flow using cross-correlation and principal component analysis functions also improve accuracy up to 25% over no feature extraction when a support vector machine technique is used. Overall, statistical features using auto-correlation and cross-correlation functions achieve promising results for univariate and multivariate time series respectively using a support vector machine classifier.

5.1.1 Análisis de tendencias en literatura

Para el análisis de tendencias de la literatura relacionada con la transformación digital se han analizado 17 de los 27 artículos, propuestos en el apartado anterior, para conocer las relaciones entre ellos según las relaciones entre autores, país o la entidad a la que pertenecen.

En el siguiente mapa, cada nodo representa a un autor y los enlaces indican las relaciones

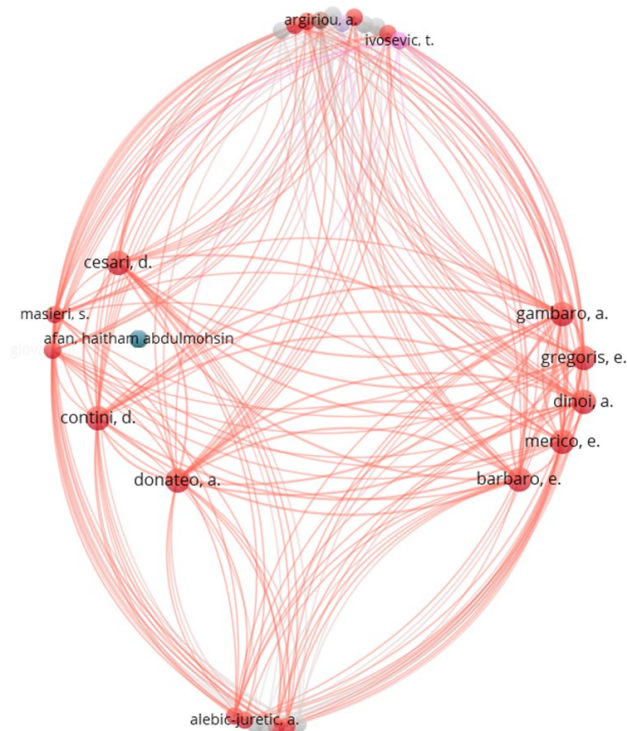
entre unos y otros. El color de cada uno de los autores determina el clúster al que pertenece. Por otro lado, la distancia entre dos autores marca su relación en función de las citas. En general, cuanto más cerca están, mayor es su relación. A continuación, haremos un análisis de los principales clústeres.



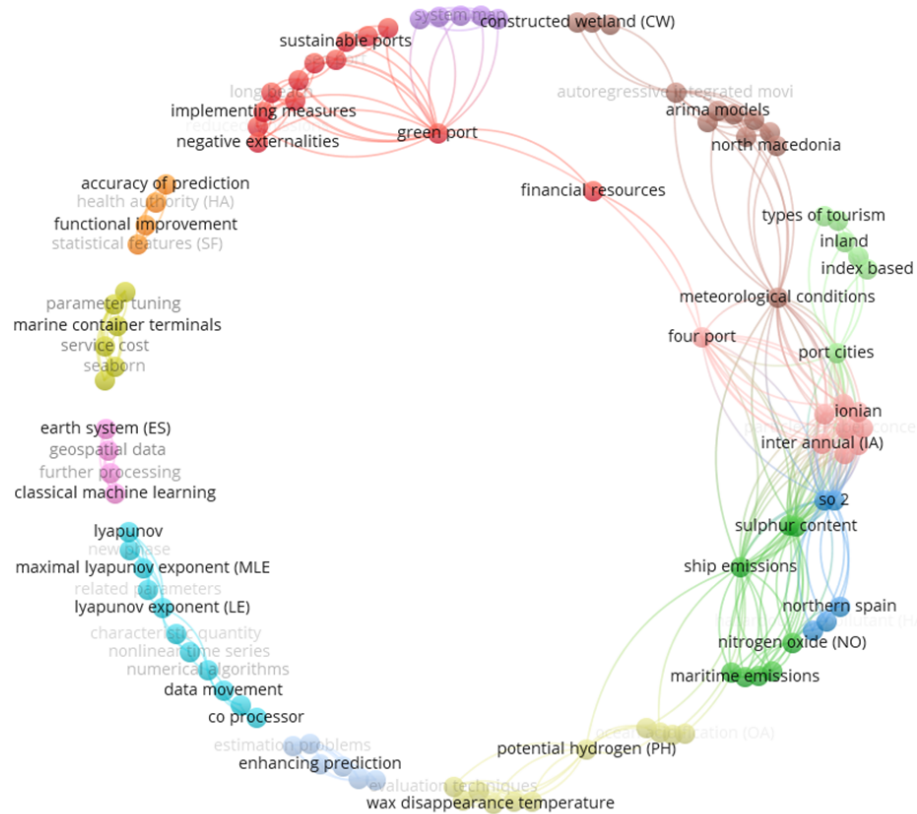
Mapa de Autores

El **primer clúster (color rojo)** está formado por los autores (ordenados por el número de citas): Barbaro, E., Cesari, D., Contini, D., Dinoi, A., Donateo, A., Gambaro, A., Meri-

co, E., Giovanelli, G., Masieri, S., Alebic-Juretic, A., Giannaros, C., Konstandopoulos, A. G., Liora, N., Melas, D., Mifka, B., Nocioni, A. y Sucic, Boris.

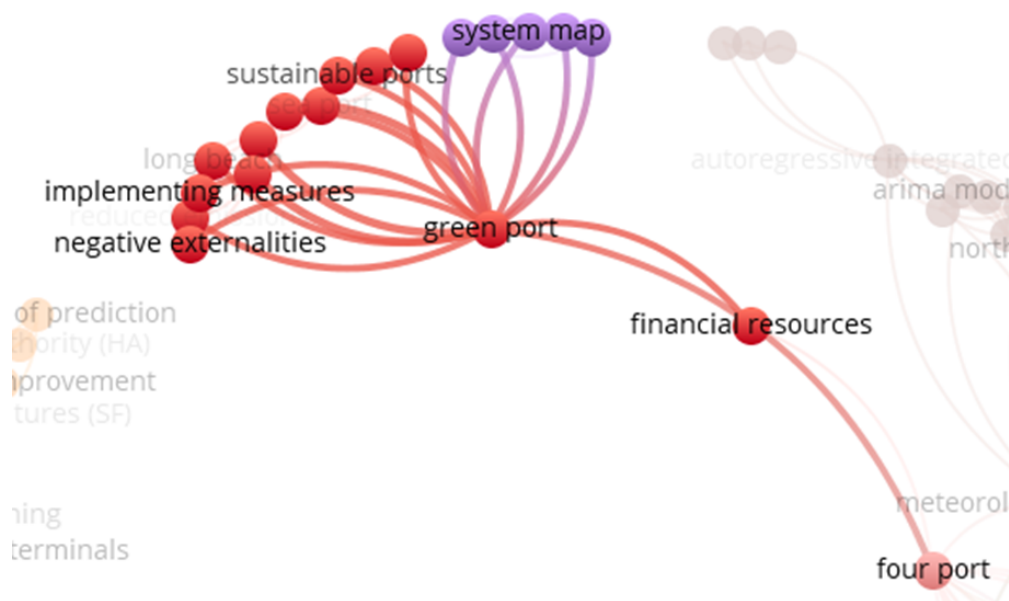


Detalle de los autores del Clúster 1



Palabras claves más usadas en la selección de literatura

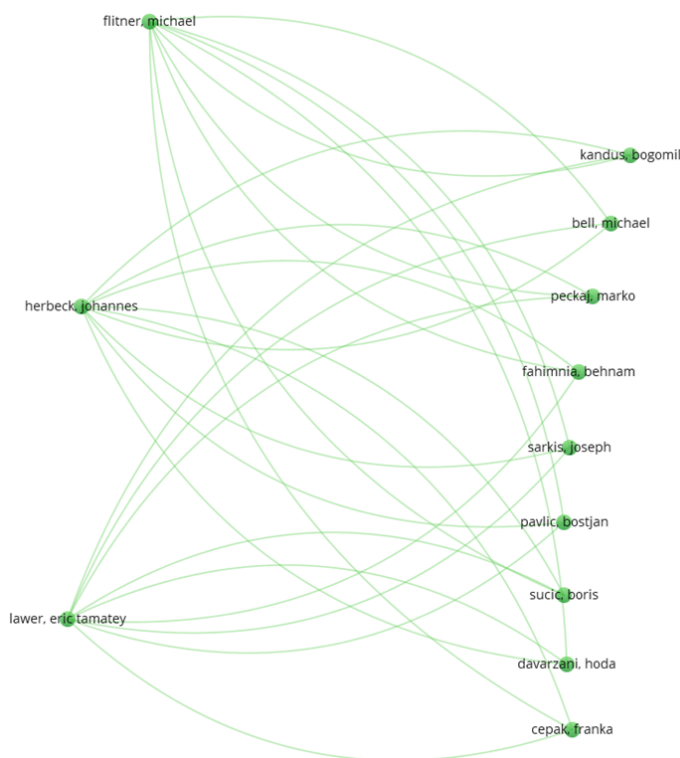
Basándonos en el **análisis de palabras clave** que han sido extraídas de manera automática por un software, los autores de este clúster trabajan principalmente sobre “green ports”.



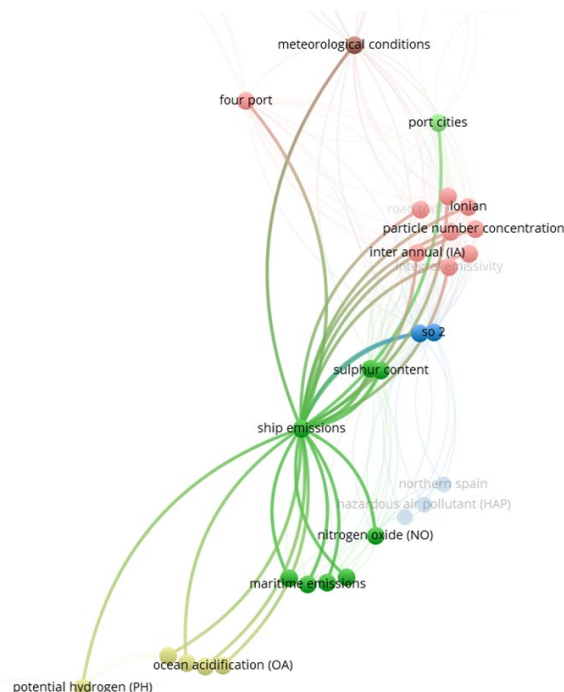
Palabras claves más frecuentes en el Clúster 1

El **segundo clúster (color verde)** está formado por los autores (ordenados por números de citas): Bell, Michael., Davarzani, Hoda., Fahimnia, Behnam, Sarkis, Joseph, Cepak, Franka, Kandus, Bogomil, Pavlic,

Bostjan, Flitner, Michael, Herbeck, Johannes, Lawer, Eric Tamatey. El topic más frecuente entre estos autores es “ship emissions”.



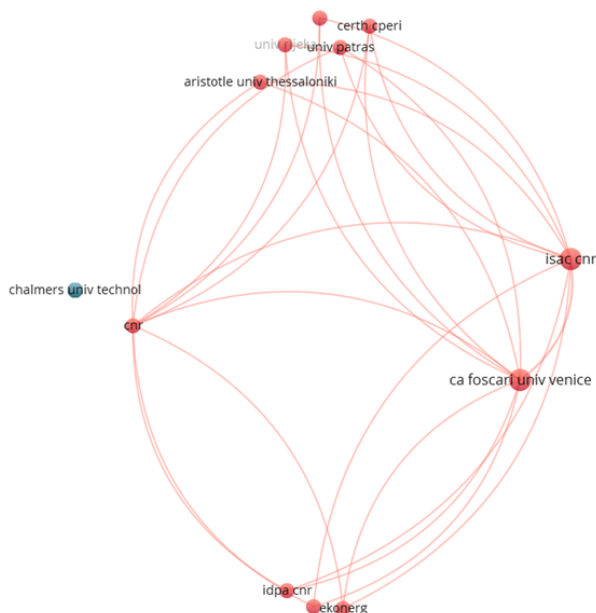
Detalle del Clúster 2



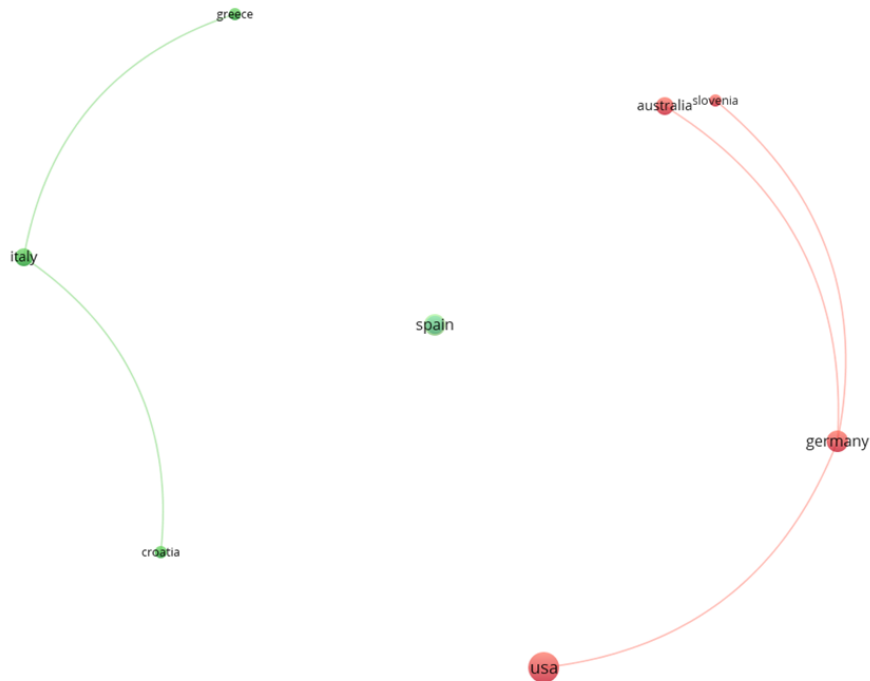
Palabras clave más utilizadas por el Clúster 2

En los siguientes gráficos, se muestra la **relación por entidades y países** de los docu-

mentos analizados en el apartado [5.1 Literatura científica.](#)



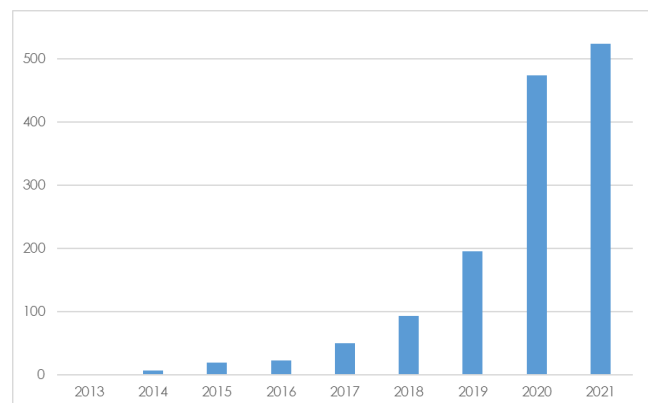
Mapa de citas por entidades



Mapa de citas entre países

Según el número de citas de cada publicación, en la siguiente tabla y gráfico podemos observar que el número de referencias asciende a lo largo de los años. Desde 2019 (195) se han superado las 200 citas hasta llegar a sobrepasar las 500 en 2021 (524).

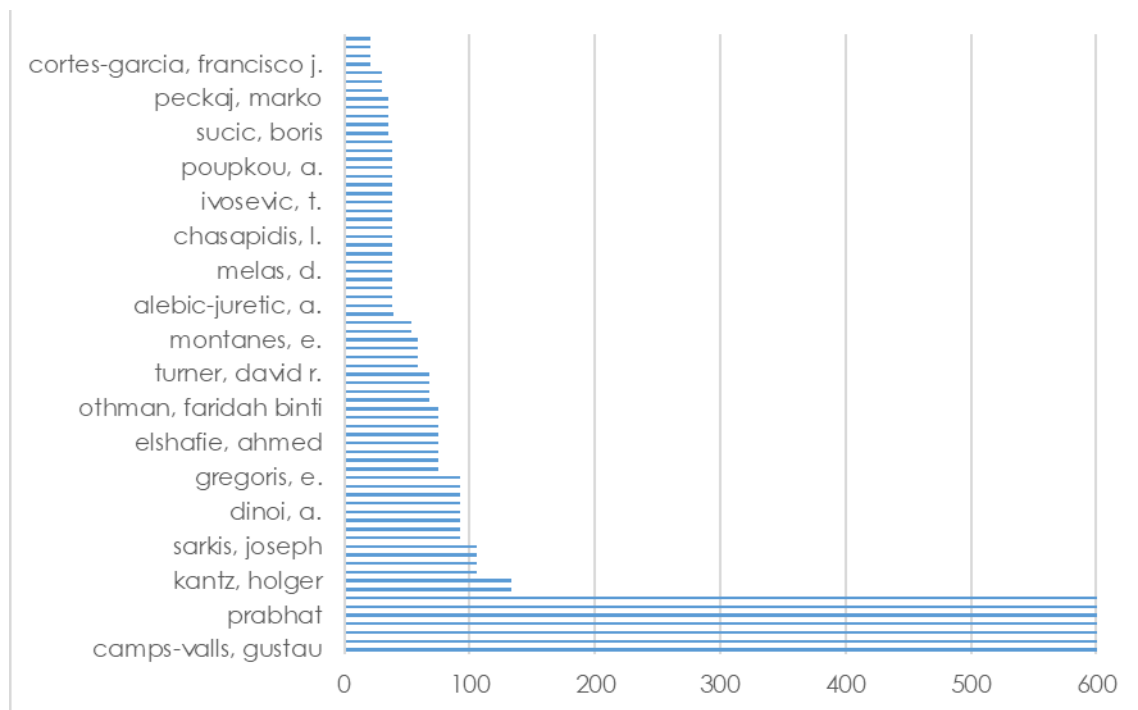
La Tabla indica que al menos el 44% de los documentos han sido citados más de cinco veces, el 28% se han referenciado más de veinticinco veces y el 22% han superado las cincuenta citas.



Año	Total de citas
2013	1
2014	7
2015	19
2016	23
2017	50
2018	93
2019	195
2020	474
2021	524

En el siguiente mapa podemos ver quiénes de los 86 autores de las publicaciones analizadas, son los más influyentes. Los cinco autores más citados (Camps-Valls, Gustau., Carvalhais, Nuno., Denzler, Joachim., Jung, Martin., Prabhat., Reichstein, Markus., Stevens, Bjorn) pertenecen al clúster 1.

Los cinco autores más citados (Camps-Valls, Gustau., Carvalhais, Nuno., Denzler, Joachim., Jung, Martin., Prabhat., Reichstein, Markus., Stevens, Bjorn) pertenecen al clúster 1.



Autores más citados

Lista de autores con h-index, citas y publicaciones

Autores	Afiliación	H-I	CT	PT
Contini, Daniele	-	-	-	-
Camps-Valls, Gustau	-	-	-	-
Reichstein, Markus	Max Planck Institute for Biogeochemistry	91	38.429	260
Sarkis, Joseph	Worcester Polytechnic Institute	82	26.471	333
Stevens, Bjorn	Max Planck Institute for Meteorology	74	22.460	276
Jung, Martin	Universitätsklinikum des Saarlandes	46	13.205	163
Bell, Michael G. H.	University of Sydney	43	5.782	193
Kantz, Holger	Max Planck Society	42	6.889	222
El-Shafie, Ahmed	Universiti Malaya	36	5.047	239
Gambaro, Andrea	Universita Ca Foscari Venezia Dept Environm Sci Informat & Stat	34	3.299	154
Melas, D.	Aristotle University of Thessaloniki	34	3.818	185
Carvalhais, Nuno	Max Planck Society Biogeochem Integrat Dept	31	5.897	64
Turner, David R	University of Gothenburg	31	3.461	72
Lauer, Axel	German Aerospace Centre (DLR)	30	4.807	68

Corbett, James J.	University of Delaware	30	4.726	70
Konstandopoulos, A. G.	Centre for Research & Technology Hellas	29	2.696	127
Fahimnia,	University of Sydney	28	3.287	59
Cesari, Daniela	Istituto per la Dinamica dei Processi Ambientali (IDPA-CNR) Inst Dynam Environm Proc	25	1.486	48
Poupkou, Anastasia	Aristotle University of Thessaloniki	22	1.306	64
Donateo, Antonio	Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR)	21	1.358	53
Jose Garcia-Nieto, Paulino	University of Oviedo	21	1.326	76
Denzler, Joachim	Friedrich Schiller University of Jena	19	1.947	154
Dulebenets, Ma-	FAMU-FSU College of Engineering	18	696	52
Prabhat	Lawrence Berkeley National Laboratory	18	3.596	94
Orlic, I.	University of Rijeka	17	906	65
Ahmed, Ali Najah	Univ Tenaga Nasl UNITEN	17	923	102
Ehteram, Mohammad	Semnan University Fac Civil Engn	17	831	77
Barbaro, Elena	-	16	780	41
Rahman, Asha-qur	-	15	768	89
Chow, M. F.	Monash University, Malaysia Campus	15	610	62
Alebic-Juretic, Ana	-	14	484	40
Dinoi, Adelaide	Istituto di Scienze dell'Atmosfera e del Clima (ISAC-CNR) Ist Sci Atmosfera Clima	14	603	26
Woxenius, Johan	University of Gothenburg	14	777	35
Argiriou, Athanassios A.	University of Patras	13	490	55
Bergqvist, Ri-	University of Gothenburg	13	524	39
Othman, Fari-	Universiti Malaya	13	5.765	67
Merico, Eva	Istituto di Scienze dell'Atmosfera e del Clima (ISAC-CNR)	12	488	17
Molina-Moreno, Valentin	University of Granada	12	298	20
Hasselov, Ida-Maja	Chalmers University of Technology	12	445	34

Giua, R.	Regional Environmental Protection Agency -	11	332	23
Grigori, Laura	Inria Paris	11	458	66
Bradley, Eliza-	University of Colorado System	11	436	40
Combarro, Elias F.	University of Oviedo	10	349	52
Montanes, Ele-	University of Oviedo	10	400	38
Zalakeviciute, Rasa	Universidad de Las Americas - Ecuador Grp Biodiversidad Medio Ambiente & Salud BIO-MAS	10	402	33
Hossain, Md	Heriot Watt Univ Sch Energy Geosci Infra-	10	323	23
Dimopoulos, Sotiris	ETH Zurich Dept Biosyst Sci & Engn	9	303	13
Gregoris, Elena	-	9	392	17
Monios, Jason	Kedge Business School	9	257	42
Cortes-Garcia, Francisco Joa-	-	9	14	273
Rybarczyk,	Universidad de Las Americas - Ecuador Fac	9	325	46
Al-Yaari,	King Faisal University	9	249	19
Maashi, Mas-	King Saud University	9	333	20
Dongarra, Jack	University of Tennessee System	9	276	83
Liora, Natalia	-	8	265	15
Davarzani, H	Bureau de Recherches Geologiques et Minie-	8	985	15
Giannaros,	Aristotle University of Thessaloniki	7	259	15
Pastore, T.	Regional Environmental Protection Agency -	7	170	14
Nunez-Cacho,	Universidad de Jaen	7	136	14
Sucic, Boris	Jozef Stefan Institute	7	177	17
Afan, Haitham	Al Maaref Univ Coll	7	220	22
Flitner, Michael	University of Bremen Artec Sustainabil Res	6	99	13
Karagiannidis,	-	6	147	14
Shahriar, Md	Commonwealth Scientific & Industrial Re-	6	217	35
Ibrahim, Rusul	Universiti Malaya	6	397	13

aldhyani, Theyazn H. H	King Faisal University	6	94	20
Higham, Nicholas J.	University of Manchester	6	119	99
Herbeck, Johannes	University of Bremen Artec Sustainabil Res Ctr	5	68	12
Nocioni, Alessandra	Regional Environmental Protection Agency - Italy	5	146	7
Masieri, S.	University Hospital Sapienza Rome	5	109	18
Chasapidis, Leonidas	CERTH CPERI	4	65	5
Ivosevic, T.	University of Rijeka	4	63	6
Mifka, Boris	University of Rijeka	4	52	6
McCulloch, John	Commonwealth Scientific & Industrial Research Organisation (CSIRO)	4	42	16
Cepak, Franka	Port Koper Dd	4	86	5
Lawer, Eric Tama-tey	University of Bremen Sustainabil Res Ctr Artec	3	46	4
Tsakis, A.	CERTH CPERI Aerosol & Particle Technol Lab	3	87	3
Ruiz-Guerra, Ignacio	Complutense University of Madrid	3	41	5
Sarovic, Kristina	EKONERG Energy & Environm Protect Inst	2	41	2
Alkahtani, Hasan	King Faisal University	2	16	5
Pavlic, Bostjan	Port Koper	1	35	2
Peckaj, Marko	Jozef Stefan Institute	1	35	1
Kandus, Bogomil	ENEKOM Do Energy Advisory Inst	1	35	2

5.2 Proyectos

Port IoT for Environmental Leverage

Acrónimo: PIXEL

Financiado por: H2020-EU.3.4.

Periodo de financiación: 2018-2021

[+ INFO](#)

Resumen:

Ports are a great example of heterogeneous information hubs. Multiple stakeholders

operate inside and outside them with different motivations and businesses. Although document and data interchange is already in place through Port Community Systems (PCS), the interchange is limited to official documentation and services of the Port Authority, such as custom declarations, import/export of cargo, and other formal documents. However, an effective integration of operational data is far from optimal in most ports, and especially so in medium or small ports, where budget is limited and IT services usually is outsourced.

In contrast, the available operational data (resources tracking, container status, vessel operations, surface or berth available, air/water quality measurements,...) is constantly increasing and technology is getting inexpensive and widely available. However, the application of such systems is still single-entity centric, since the information is not shared, keeping the real potential of the Internet of Things (IoT) and Industry 4.0 hidden. The same holds for geographic areas surrounding ports, where Smart Cities integrate various data systems and provide valuable services to citizens and authorities.

PIXEL will enable a two-way collaboration of ports, multimodal transport agents and cities for optimal use of internal and external resources, sustainable economic growth and environmental impact mitigation, towards the Ports of the Future. PIXEL will leverage technological enablers to voluntary exchange data among ports and stakeholders, thus ensuring a measurable benefit in this process. The main outcome of this technology will be efficient use of resources in ports, sustainable development and green growth of ports and surrounding cities/regions.

Built on top of the state-of-the art interoperability technologies, PIXEL will centralise data from the different information silos where internal and external stakeholders store their operational information.

Towards a green and sustainable ecosystem for the EU Port of the Future

Acrónimo: PortForward

Financiado por: H2020-EU.3.4.

Periodo de financiación: 2018-2022

[+ INFO](#)

Resumen:

The Port of the Future will be able to en-

hance sustainable development and to manage the resources to be invested and their employment for a competitive advantage. Therefore, the port of the future must be oriented to port community and have an operative strategic capability to work, in line with European purposes, on the following:

- Smart, through ICT solutions, because it is important to improvement exchange of information flows between port and port community;
- Interconnected with the use of a combination of different modes of transport and the integration of different technologies, because it is important to achieve better monitoring and controlling of the freight flows;
- Green through the adoption of green technologies because it is important to reduce the environmental impact of port operations saving the resources.

All in all, sustainable development is the present and future for ports that want to lead the industry supported by three cornerstones: Operational Excellence, Insightful Collaboration with partners through the supply chain, and top notch Safety, Health and Environmental practices.

PortForward proposes a holistic approach that will lead to a smarter, greener and more sustainable port ecosystem and which will include the following features:

The introduction of an Internet of Things (IoT) concept for port assets (infrastructure, vehicles, cargo, people):

The socio-economic analysis of the port interface with its surrounding area and the port-city, as well as the rest of the logistics value chain.

PORTable Innovation Open Network for Efficiency and Emissions Reduction Solutions

[+ INFO](#)

Acrónimo: PIONEERS

Financiado por: H2020-EU.3.4.

Periodo de financiación: 2021-2026

Resumen:

PIONEERS brings together four ports with different characteristics, but shared commitments towards meeting the Green Deal goals and Blue Growth socio-economic aims, in order to address the challenge for European ports of reducing GHG emissions while remaining competitive. In order to achieve these ambitions, the Ports of Antwerp, Barcelona, Venlo and Constanta will implement green port innovation demonstrations across four main pillars: clean energy production and supply, sustainable port design, modal shift and flows optimization, and digital transformation. Actions include: renewable energy generation and deployment of electric, hydrogen and methanol vehicles; building and heating networks retrofit for energy efficiency and implementation of circular economy approaches in infrastructure works; together with deployment of digital platforms (utilising AI and 5G technologies) to promote modal shift of passengers and freight, ensure optimised vehicle, vessel and container movements and allocations, and facilitate vehicle automation. These demonstrations form integrated packages aligned with other linked activities of the ports and their neighbouring city communities. Forming an Open Innovation Network for exchange, the ports, technology and support partners will progress through project phases of innovation demonstration, scale-up and co-transferability. Rigorous innovation and transfer processes will address technology evaluation and business case development for exploitation, as well as creating the institutional, regulatory and financial frameworks for green ports to flourish from technical innovation pilots to

widespread solutions. These processes will inform and be undertaken in parallel with masterplan development and refinement, providing a Master Plan and roadmap for energy transition at the PIONEERS ports, and handbook to guide green port planning and implementation for different typologies of ports across Europe.

Capacity with a pOsitve enviRonmEntal and societAL footprInt: portS in the future era **Capacity with a pOsitve enviRonmEntal and societAL footprInt: portS in the future era**

Acrónimo: COREALIS

Financiado por: H2020-EU.3.4.

Periodo de financiación: 2018-2021

[+ INFO](#)

Resumen:

Ports are essential for the European economy; 74% of goods exported or imported to the EU are transported via its seaports. At the same time, the challenges they face are only getting greater: Volumes of cargo increase while they also arrive in a shrinking number of vessels: Post-Panamax vessels have a capacity of more than 18k containers. Port operators need to comply with increasingly stricter environmental regulations and societal views for sustainability. A sustainable land-use strategy in and around the port and a strategic transition to new, service-based, management models that improve capacity and efficiency are paramount. They are key enablers for ports that want to keep pace with the ocean carriers needs and establish themselves as transshipment hubs with a ‘societal license to operate’; for ports whose land strategy, hinterland accessibility and operations are underpinned by circular economy principles. COREALIS proposes a strategic, innovative framework, supported by disruptive technologies, including IoT, data analytics, next

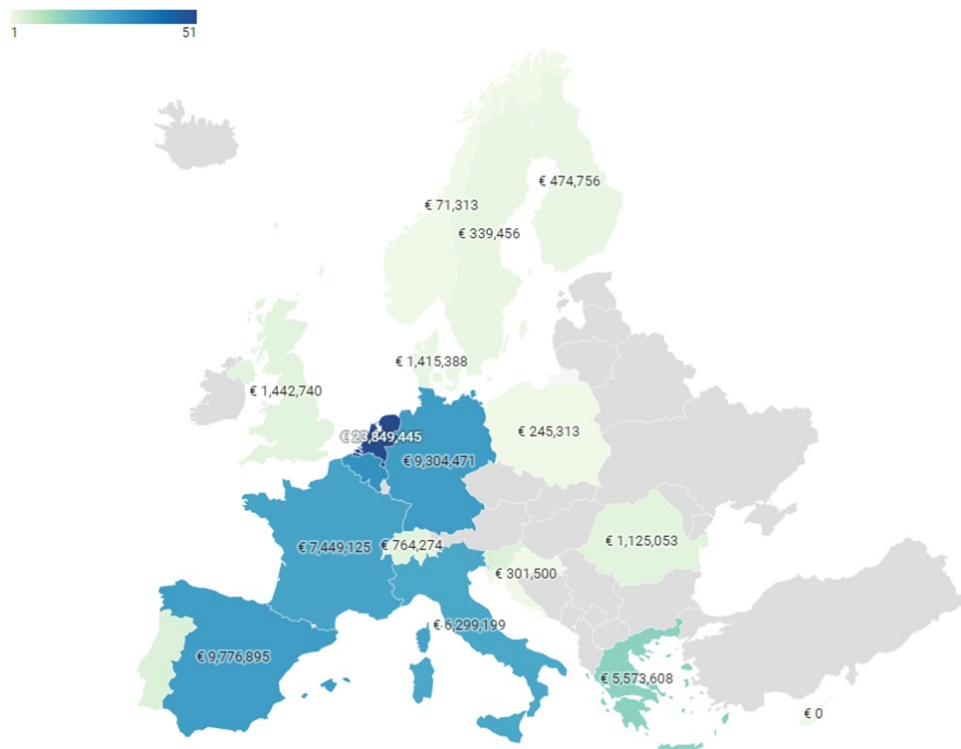
generation traffic management and 5G, for modern ports to handle future capacity, traffic, efficiency and environmental challenges. It respects their limitations regarding the port land, intermodal infrastructure and terminal operation. It proposes beyond state of the art innovations to increase efficiency and optimize land-use, while being financially viable, respecting circular economy and being of service to the city. Through COREALIS, the port will minimize its environmental footprint to the city, it will decrease disturbance to local population through a reduction in the congestion

around the port. It will be a pillar of business innovation, promoting local startups in disruptive technologies of mutual interest. COREALIS innovations are key both for the major deep sea European ports in view of the new mega-vessel era, but also relevant for medium sized ports with limited investment funds for infrastructure and automation.

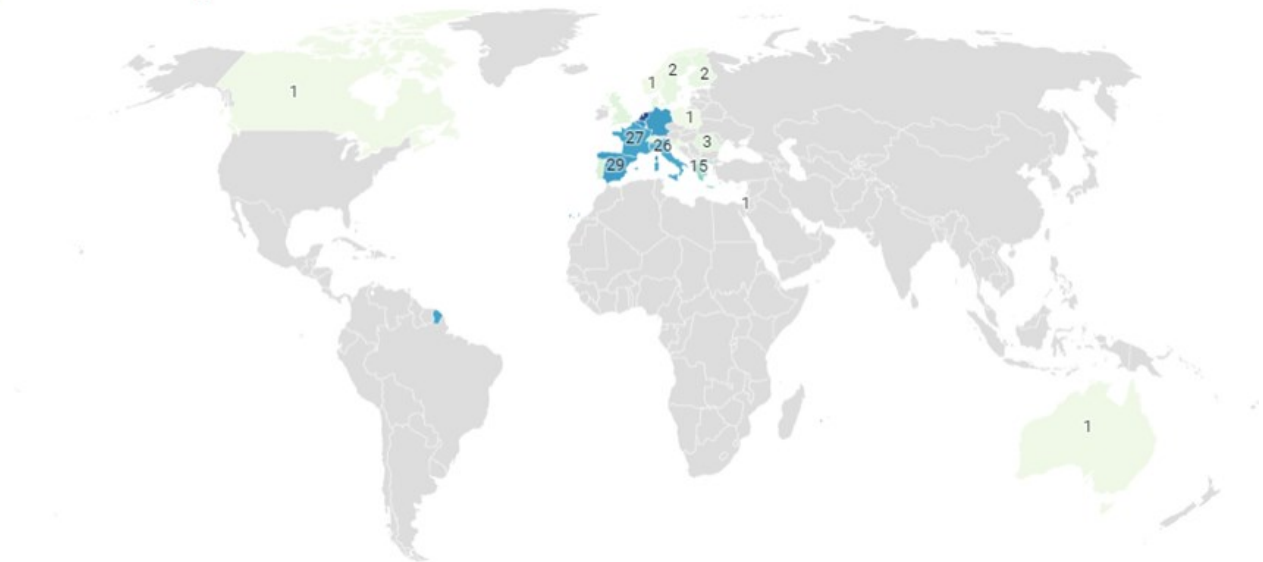
5.2.1 Análisis de la financiación europea

Los proyectos descritos están financiados por Horizonte 2020. El presupuesto total de este programa es de 67,93B€, para estos proyectos concretamente se destinan

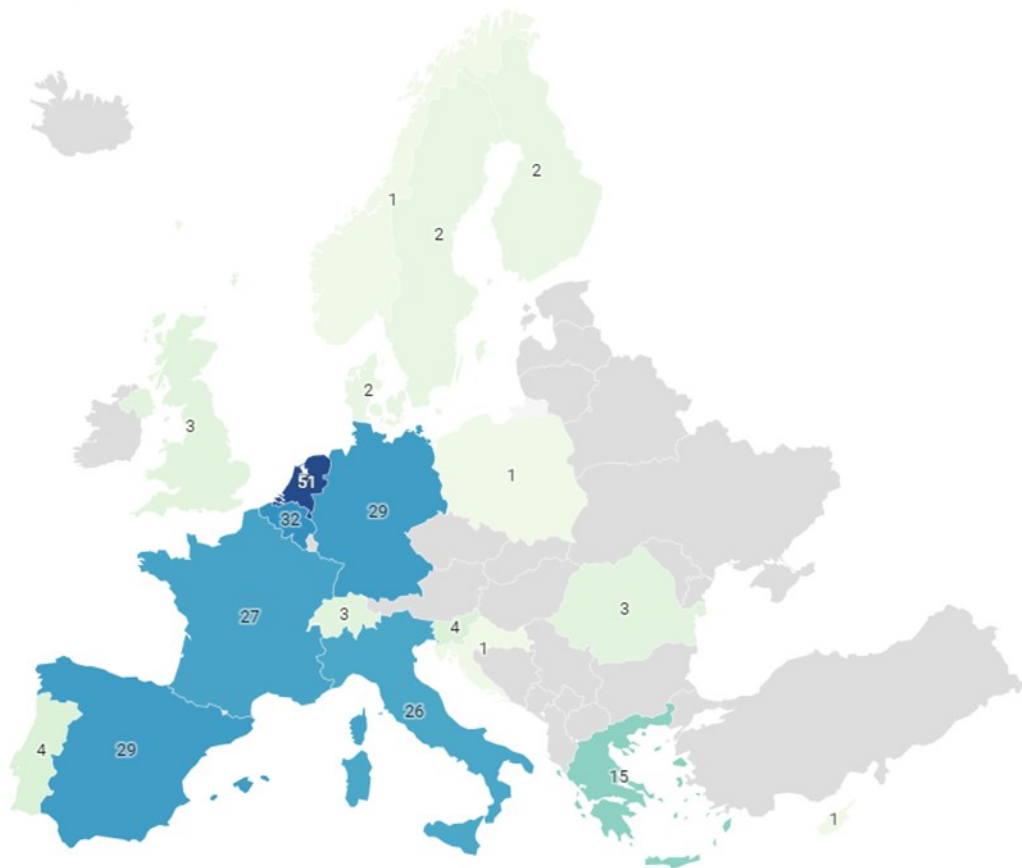
88,47M€. En estos proyectos participan 240 organismos de los 175.986 intervienen en total.



Contribución de la Unión Europea por país



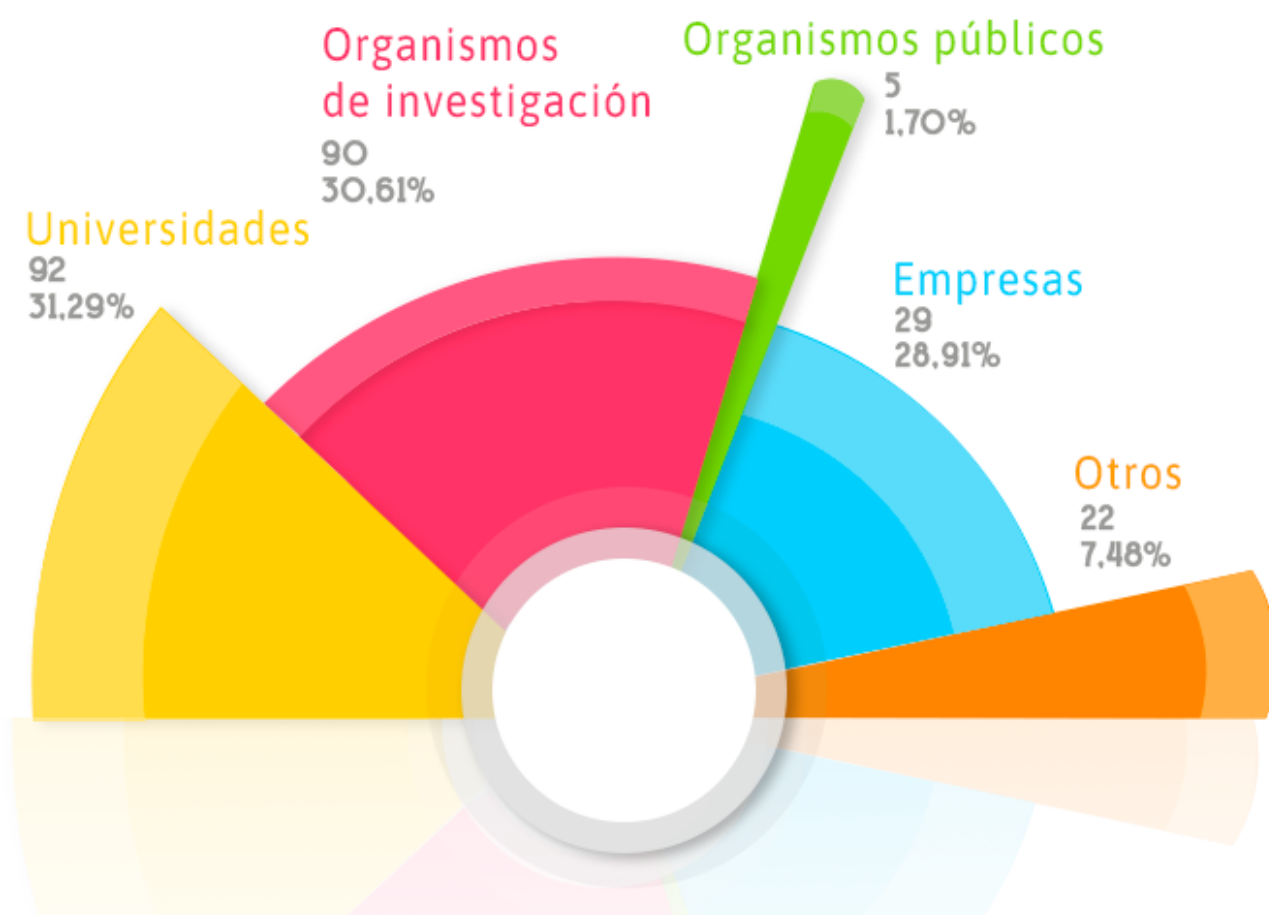
Participantes por país



Detalle de participación en Europa



Nube de temas de los proyectos



Participación por tipo de entidades

6. Bibliografía

- [1] AENOR. (2011). Gestión de la I+D+i: Sistema de vigilancia tecnológica e inteligencia competitiva. UNE 166000 EX, UNE 166001 EX, UNE 166002 EX. Madrid: AENOR.
- [2] Degoul, P. (1992). Le pouvoir de l'information avancée face au règne de la complexité. Annales de Mines.
- [3] Escorsa, P. R. (2001). De la vigilancia tecnológica a la inteligencia competitiva. Pearson Educación.ed
- [4] Escorsa, Pere, Pilar Lázaro Martínez, Círculo de Innovación en Biotecnología. (2007). Intec: la inteligencia competitiva, factor clave para la toma de decisiones estratégicas en las organizaciones. Colección mi+d. Fundación Madri+d para el Conocimiento.
- [5] F. Palop, J. V. (Febrero de 1995). Vigilancia Tecnológica e Inteligencia Competitiva. Estudios Cotec, nº 15. Cotec.
- [6] CETISME, P. (2003). Inteligencia Económica y Tecnológica. Guía para principiantes y profesionales. Comunidades Europeas.
- (UNCTAD), U. N. (2020). Review of Maritime Transport 2019. Geneva, 2019: United Nations.
- Acciaro, M., Vanelslander, T., Sys, C., Ferrari, C., Roumboutsos, A., Giulliano, G., . . . Kapros, S. (2014). Environmental sustainability in seaports: A framework for succesful innovation. Maritime Policy & Management, 41(5), 480-500
- Aldhyani, T. H. H., Al-Yaari, M., Alkahtani, H., & Maashi, M. (2020). Water Quality Prediction Using Artificial Intelligence Algorithms. Applied Bionics and Biomechanics, 2020. <https://doi.org/10.1155/2020/6659314>
- Arsov, M., Zdravevski, E., Lameski, P., Corizzo, R., Koteli, N., Mitreski, K., & Trajkovik, V. (2020). Short-term air pollution forecasting based on environmental factors and deep learning models. Proceedings of the 2020 Federated Conference on Computer Science and Information Systems, FedCSIS 2020, (September), 15–22. <https://doi.org/10.15439/2020F211>
- Bergqvist, R., & Egels-Zandén, N. (2012). Green port dues — The case of hinterland transport. Research in Transportation Business & Management, 5, 85-91.
- Bradley, E., & Kantz, H. (2015). Nonlinear time-series analysis revisited. Chaos, 25(9). <https://doi.org/10.1063/1.4917289>
- Chang, C. C., & Wang, C. M. (2012). Evaluating the effects of green port policy: Case study of Kaohsiung harbor in Taiwan. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 17(3), 185–189. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2011.11.006>
- Davarzani, H., Fahimina, B., Bell, M., & Sarkis, J. (2016). Greening ports and maritime logis-

tics: A review. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 48, 473-487

Dávila de León, A., Lalla-Ruiz, E., Melián-Batista, B., & Moreno-Vega, J. (2017). A machine learning based system for berth scheduling at bulk terminals. En *Expert Systems with Applications*. 2017.

De Brouwer, P. (2020). The Big R Book. In *The Big R Book*. Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781119632757>

De La Hoz, C., & Gotilla, C. (2009). Modelo para la prediccion de parametros de calidad del agua del lago de valencia utilizando imágenes de satelite. In *Teledetección: Agua y desarrollo sostenible*. XIII Congreso de la Asociación Española de Teledetección (pp. 113–116).

De La Hoz, C., & Gotilla, C. (2009). Modelo para la prediccion de parametros de calidad del agua del lago de valencia utilizando imágenes de satelite. In *Teledetección: Agua y desarrollo sostenible*. XIII Congreso de la Asociación Española de Teledetección (pp. 113–116).

Dongarra, J., Grigori, L., & Higham, N. J. (2020). Numerical algorithms for high-performance computational science. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 378(2166). <https://doi.org/10.1098/rsta.2019.0066>

Dulebenets, M. (2017). Application of evolutionary computation for berth scheduling at marine container terminals: Parameter tuning versus parameter control. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 19(1), 25-37.

EcoPorts. (2021, 05 07). EcoPorts: Green Your Ports. Retrieved from EcoPorts: <https://www.ecoport.com/>

Expósito, Á. O. (2020). Deep Learning & Graph Clustering for Maritime Logistics : Predicting Destination and Expected Time of Arrival for Vessels Across Europe.

Faraj, F., & Shen, H. (2018). Forecasting the Environmental Parameters of Water Resources Using Machine Learning Methods. *Annals of Advanced Agricultural Sciences*, 2(4). <https://doi.org/10.22606/as.2018.24003>.

Freeman, B. S., Taylor, G., Gharabaghi, B., & Thé, J. (2018). Forecasting air quality time series using deep learning. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 68(8), 866–886. <https://doi.org/10.1080/10962247.2018.1459956>

García Nieto, P. J., Combarro, E. F., Del Coz Díaz, J. J., & Montañés, E. (2013). A SVM-based regression model to study the air quality at local scale in Oviedo urban area (Northern Spain): A case study. *Applied Mathematics and Computation*, 219(17), 8923–8937. <https://doi.org/10.1016/j.amc.2013.03.018>

García Nieto, P. J., Combarro, E. F., Del Coz Díaz, J. J., & Montañés, E. (2013). A SVM-based regression model to study the air quality at local scale in Oviedo urban area (Northern Spain): A case study. *Applied Mathematics and Computation*, 219(17), 8923–8937. <https://doi.org/10.1016/j.amc.2013.03.018>

doi.org/10.1016/j.amc.2013.03.018

Giles, M. B., & Reguly, I. (2014). Trends in high-performance computing for engineering calculations. In *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences* (Vol. 372, Issue 2022). Royal Society. <https://doi.org/10.1098/rsta.2013.0319>

Gonzalez Aregall, M., Bergqvist, R., & Monios, J. (2018). A global review of the hinterland dimension of green ports strategies. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 59, 22-34.

Gonzalez, D., Alfonso Estevez, C., Sebastian Leon, J. R., & Galvan, N. (n.d.). Artificial intelligence and high performance computing for solve high complexity problems.

Hassellöv, I. M., Turner, D. R., Lauer, A., & Corbett, J. J. (2013). Shipping contributes to ocean acidification. *Geophysical Research Letters*, 40(11), 2731–2736. <https://doi.org/10.1002/grl.50521>

Hernández, N., Camargo, J., Moreno, F., Torres, A., & Plazas-Nossa, L. (2017). Arima as a forecasting tool for water quality time series measured with UV-Vis spectrometers in a constructed wetland. *Tecnologia y Ciencias Del Agua*, 8(5), 127–139. <https://doi.org/10.24850/jtyca-2017-05-09>

<http://bluegrowthvigo.eu/en/project/green-bay-vigo-en> (accedido por última vez en 05/05/2021)

<http://bluegrowthvigo.eu/en/project/green-bay-vigo-en> (accedido por última vez en 05/05/2021)

<https://sustainableworldports.org/project/port-of-vigo-sunset-dock-project/> (accedido por última vez en 05/05/2021)

<https://sustainableworldports.org/project/port-of-vigo-sunset-dock-project/> (accedido por última vez en 05/05/2021)

<https://www.aiforoceans.org/> (accedido por última vez en 05/05/2021)

<https://www.aiforoceans.org/> (accedido por última vez en 05/05/2021)

Huang, T., Han, X., & Jinsuo, L. (2008). Chaos predication method based on Lyapunov Exponent and its application in water Quality forecast. *Journal of Xi'an University of Architecture and Technology*.

Lawer, E. T., Herbeck, J., & Flitner, M. (2019). Selective adoption: How port authorities in Europe and West Africa engage with the globalizing “green port” idea. *Sustainability* (Switzerland), 11(18). <https://doi.org/10.3390/su11185119>

Lee, M. H., Rahman, N. H. A., Suhartono, Latif, M. T., Nor, M. E., & Kamisan, N. A. B. (2012). Seasonal ARIMA for forecasting air pollution index: A case study. *American Journal of Ap-*

plied Sciences, 9(4), 570–578. <https://doi.org/10.3844/ajassp.2012.570.578>

Ma, X., Wang, L., Wu, H., Li, N., Ma, L., Zeng, C., & Zhou, Y. (2015). Impact of Yangtze River Water Transfer on the Water Quality of the Lixia River, 1–16. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0119720>

Marco, S. M., & Rodelgo Lacruz, M. (2017). Estudio y optimización de un sistema de inteligencia artificial para el análisis de tráfico marítimo y aéreo empleando datos AIS y ADS-B. <http://calderon.cud.uvigo.es/handle/123456789/176>

Mazzarella, F., Arguedas, V. F., & Vespe, M. (2015, December 4). Knowledge-based vessel position prediction using historical AIS data. 2015 Workshop on Sensor Data Fusion: Trends, Solutions, Applications, SDF 2015. <https://doi.org/10.1109/SDF.2015.7347707>

McCool, M., Robison, A. D., & Reinders, J. (2012). Structured Parallel Programming: Patterns for Efficient Computation.

Merico, E., Donato, A., Gambaro, A., Cesari, D., Gregoris, E., Barbaro, E., ... Contini, D. (2016). Influence of in-port ships emissions to gaseous atmospheric pollutants and to particulate matter of different sizes in a Mediterranean harbour in Italy. *Atmospheric Environment*, 139, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.05.024>

Merico, E., Gambaro, A., A.Argirou, A.Alebic-Juretic, E.Barbaro, D.Cesari, . . . S.Dimopoulos. (2017). Atmospheric impact of ship traffic in four Adriatic-Ionian port-cities: Comparison and harmonization of different approaches. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 50, 431–445.

Monios, J., Bergqvist, R., & Woxenius, J. (2018). Port-centric cities: The role of freight distribution in defining the port-city relationship. *Journal of Transport Geography*, 66, 53–64.

Montgomery, D. C., Jennings, C. L., & Kulahci, M. (2015). *Introduction to Time Series Analysis and Forecasting* (2nd ed.). Wiley.

Najah Ahmed, A., Binti Othman, F., Abdulmohsin Afan, H., Khaleel Ibrahim, R., Ming Fai, C., Shabbir Hossain, M., ... Elshafie, A. (2019). Machine learning methods for better water quality prediction. *Journal of Hydrology*, 578, 124084. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.124084>

Nguyen, P. H., Duong, Q. D., Luong, M. Van, & Chu, H. D. (2020). Designing Forecasting Parameter Algorithm of Environmental Shrimp Using Recurrent Neural Network. *Journal of Science and Technology: Issue on Information and Communications Technology*, 18(12.2), 8. <https://doi.org/10.31130/ict-ud.2020.104>

Parmezan, A. R. S., Souza, V. M. A., & Batista, G. E. A. P. A. (2019). Evaluation of statistical and machine learning models for time series prediction: Identifying the state-of-the-art and the best conditions for the use of each model. *Information Sciences*, 484, 302–337. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2019.01.076>

- Pavlic, B., Cepak, F., Sucic, B., Peckaj, M., & Kandus, B. (2014). Sustainable port infrastructure, practical implementation of the green port concept. *Thermal Science*, 18(3), 935–948. <https://doi.org/10.2298/TSCI1403935P>
- Reichstein, M., Camps-Valls, G., Stevens, B., Jung, M., Denzler, J., Carvalhais, N., & Prabhat. (2019). Deep learning and process understanding for data-driven Earth system science. *Nature*, 566(7743), 195–204. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-0912-1>
- Ruiz-Guerra, I., Molina-Moreno, V., Cortés-García, F. J., & Núñez-Cacho, P. (2019). Prediction of the impact on air quality of the cities receiving cruise tourism: the case of the Port of Barcelona. *Heliyon*, 5(3). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01280>
- Runge, J., Bathiany, S., Bollt, E., Camps-Valls, G., Coumou, D., Deyle, E., ... Zscheischler, J. (2019). Inferring causation from time series in Earth system sciences. *Nature Communications*, 10(1), 1–13. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-10105-3>
- Rybarczyk, Y., & Zalakeviciute, R. (2018, December 11). Machine learning approaches for outdoor air quality modelling: A systematic review. *Applied Sciences (Switzerland)*. MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/app8122570>
- S hao, Y., Wyrwoll, K. H., Chappell, A., Huang, J., Lin, Z., McTainsh, G. H., ... Yoon, S. (2011, March). Dust cycle: An emerging core theme in Earth system science. *Aeolian Research*. <https://doi.org/10.1016/j.aeolia.2011.02.001>
- Shahriar, M. S., Rahman, A., & McCulloch, J. (2014). Predicting shellfish farm closures using time series classification for aquaculture decision support. *Computers and Electronics in Agriculture*, 102, 85–97. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2014.01.011>
- Tang, L., Ramacher, M., Moldanová, J., Matthias, V., Karl, M., & Johansson, L. et al. (2020). The impact of ship emissions on air quality and human health in the Gothenburg area – Part I: 2012 emissions. *Chem. Phys. Discuss.*, 2020, 1–36. <https://doi.org/10.5194/acp-2020-94>
- Teuchies, J., Cox, T. J. S., Van Itterbeeck, K., Meysman, F. J. R., & Blust, R. (2020). The impact of scrubber discharge on the water quality in estuaries and ports. *Environmental Sciences Europe*, 32(1). <https://doi.org/10.1186/s12302-020-00380-z>
- Transport & Environment. (2019). One Corporation to Pollute Them All.
- UNCTAD. (2017). Review of maritime transport
- Van Roode, S., Ruiz-Aguilar, J. J., González-Enrique, J., & Turias, I. J. (2020). A Hybrid Approach for Short-Term NO₂ Forecasting: Case Study of Bay of Algeciras (Spain). In *Advances in Intelligent Systems and Computing* (Vol. 950, pp. 190–198). Springer Verlag. https://doi.org/10.1007/978-3-030-20055-8_18
- Van Roode, S., Ruiz-Aguilar, J. J., González-Enrique, J., & Turias, I. J. (2020). A Hybrid Approach for Short-Term NO₂ Forecasting: Case Study of Bay of Algeciras (Spain). In *Advances in Intelligent Systems and Computing* (Vol. 950, pp. 190–198). Springer Verlag. https://doi.org/10.1007/978-3-030-20055-8_18

doi.org/10.1007/978-3-030-20055-8_18

Viana, M., Hammingh, P., Colette, A., Querol, X., Degraeuwe, B., Vlieger, I. de, & van Aardenne, J. (2014). Impact of maritime transport emissions on coastal air quality in Europe. *Atmospheric Environment*. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.03.046>

Villalba Pintado, G. (2019). Predicción de la calidad del aire de Madrid mediante modelos supervisados. Master universitario en Ciencia de Datos (Data Science). Universidad Oberta de Catalunya.

Villalba Pintado, G. (2019). Predicción de la calidad del aire de Madrid mediante modelos supervisados. Master universitario en Ciencia de Datos (Data Science). Universidad Oberta de Catalunya.

Willard, J. D., Jia, X., Xu, S., Steinbach, M., & Kumar, V. (2020). Integrating physics-based modeling with machine learning: A survey. *ArXiv*, 1(1), 1–34.

World Climate Research Programme (WCRP). (n.d.). Retrieved May 5, 2021, from <https://www.wcrp-climate.org/>

World Port Sustainability Program. (n.d.). Retrieved May 5, 2021, from <https://sustainableworldports.org/>

Xiao, Z., & Lam, J. (2017). A systems framework for the sustainable development of a Port City: A case study of Singapore's policies. *Research in Transportation Business & Management*, 22, 255-262.

Yu, P., Gao, R., Zhang, D., & Liu, Z. P. (2021). Predicting coastal algal blooms with environmental factors by machine learning methods. *Ecological Indicators*, 123, 107334. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107334>

Zabrocki, L., Leroutier, M., & Bind, M.-A. (2021). Estimating the Causal Effects of Cruise Traffic on Air Pollution using Randomization-Based Inference. <https://doi.org/https://doi.org/10.31219/osf.io/v7ctk>

Zhang, Y., & Haghani, A. (2015). A gradient boosting method to improve travel time prediction. *Transportation Research Part C: Emerging Technology*, 58, 308-324.

Zhu, J. Y., Sun, C., Member, S., & Li, V. O. K. (2017). An Extended Spatio-temporal Granger Causality Model for Air Quality Estimation with Heterogeneous Urban Big Data, 7790(c), 1–13. <https://doi.org/10.1109/TBDATA.2017.2651898>

Zhu, J. Y., Zhi, S., & Li, V. O. K. (n.d.). p-Causality: Identifying Spatiotemporal Causal Pathways for Air Pollutants with Urban Big Data.