



# La necesidad territorial para terminales de contenedores en un escenario de crisis. Previsiones con redes neuronales

Autor:

Rodríguez García, Tomás

Revista:

Revista Transporte y Territorio

2014, 10, 130-144



Artículo



# La necesidad territorial para terminales de contenedores en un escenario de crisis.

## Previsiones con redes neuronales



Tomás Rodríguez García  
Nicoletta González Cancelas  
Francisco Soler-Flores

Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Politécnica de Madrid, España

Recibido: 23 de julio de 2013. Aceptado: 12 de febrero de 2014

### Resumen

Ante un eventual crecimiento o necesidad de espacio para una futura ampliación es necesaria una buena planificación. Una mala planificación, llevaría a no emplear correctamente los recursos y medios disponibles en el entorno. Las redes neuronales artificiales pueden ser de gran ayuda en la planificación portuaria, la optimización del territorio y por tanto la afección medioambiental del entorno que las rodea. La investigación se centra en el análisis del comportamiento de la red neuronal, en la planificación portuaria de las terminales de contenedores y en concreto en el estudio de la capacidad de las mismas en un escenario de crisis como en el que nos encontramos. De este modo se puede evaluar, sin la necesidad de nuevas inversiones y nuevos espacios, qué tráficos se pueden gestionar en dichas terminales. La Universidad Politécnica de Madrid, ha desarrollado una herramienta denominada NNttx basada en las redes neuronales artificiales ANN cuyos resultados se muestran a continuación.

### Abstract

**The land required for container terminals in a crisis scenario. Forecasts by neural networks.** Faced with possible growth or need of space for a future enlargement it is necessary to have a good plan. A bad plan would cause to not employ resources and available means in the environment properly. Artificial Neural Networks (ANN), can be of great help in port planning, territory optimization and therefore in the environmental effects on the surrounding environment. The research focuses on the analysis of the neural network performance in container terminals port planning and - in particular - in the study of their capacity in a crisis scenario such as the one we are in. In this way we can evaluate, without the need of new investments or new spaces, what traffic can be managed in these terminals. The Polytechnic University of Madrid has developed a tool called NNttx based on Artificial Neural Networks and the results are shown below.

### Palabras clave

Necesidades territoriales  
Tráfico de contenedores  
Redes neuronales artificiales  
Planificación  
Pronosticar  
Crisis

### Palavras-chave

Necessidades territoriais  
Tráfego de contentores  
Redes neurais artificiais  
Planejamento  
Previsão  
Crise

### Key words

Territorial needs  
Containerized traffic (Trade)  
Artificial neural networks  
Planning  
Forecast  
Crisis

## Introducción

Desde el origen de la crisis mundial en el año 2008 hasta nuestros días, las inversiones en términos generales han decrecido de manera singular (Ortega, 2009). Situación que también se ha hecho notar en las inversiones en ampliaciones de las terminales portuarias. Esta crisis se ha notado más fuerte en los países desarrollados como Japón, Estados Unidos, Hong Kong, Canadá, España, Singapur, Chile, aunque también han sufrido esta crisis países emergentes como México y China (López, 2009). El elevado precio de las materias primas, en particular del petróleo, las materias alimentarias, los metales industriales, el cobre y otros derivados, influyen en la reducción del tráfico marítimo y por tanto por tanto en la reducción del tráfico de contenedores.

Las terminales de contenedores son zonas claves en el ámbito del comercio de las materias primas y por tanto uno de los claros exponentes de la situación económica del entorno, siendo su tráfico un claro exponente de la realidad económica del momento.

Una vez detectada la problemática del entorno y dentro del proceso de investigación que se está realizando en la Universidad Politécnica de Madrid sobre la posible aplicación de las Redes Neuronales Artificiales en el ámbito portuario, y más concretamente en la planificación de las terminales de contenedores, se analiza cómo podría influir esta situación en terminales de contenedores singulares dentro del tráfico marítimo mundial. Las terminales de contenedores analizadas se encuentran en un amplio espectro a nivel mundial (Figura 1).

Esta investigación se desarrolla como continuación de los trabajos ya desarrollados en la materia por los autores (Rodríguez et al., 2013).

La capacidad, como variable importante en la planificación portuaria, depende de una serie de factores determinantes clave como las características físicas y operativas, así como también de la composición del tráfico que utiliza la infraestructura. Los principales factores que determinan la capacidad están definidos en términos generales de mercancía, por la longitud del muelle de atraque, los puntos de atraque y las áreas de almacenamiento (Camarero et al., 2009). Estos parámetros físicos, como la superficie de almacenamiento, nº de grúas, longitud de muelle, afectan a la capacidad y se ven condicionados por las inversiones. Dichas inversiones representan una gran aportación económica. Este hecho, de vital importancia en estos momentos de crisis económica, se hace indispensable para que toda inversión sea analizada desde un enfoque práctico y necesario y no como un instrumento de crecimiento innecesario de las instalaciones.

Hasta la fecha, los trabajos sobre planificación portuaria, se han basado principalmente en métodos empíricos, analíticos o de simulación. A lo largo del tiempo, según se recoge en la publicación (Rodríguez et al., 2013), se desarrollan estudios sobre planificación portuaria, pero no plantean un posible escenario de crisis, y menos aún su tratamiento o estimación a futuro con redes neuronales artificiales.

En relación con el estudio de capacidad en la planificación portuaria, existen trabajos interesantes en EEUU (Maloni et al., 2005), donde se hace una revisión de la literatura en relación con los factores de capacidad y en concreto con la planificación portuaria. Existen otros trabajos en Singapur (Fan et al., 2000), donde se tratan temas relacionados con la planificación estratégica. En España se podrían citar referencias sobre capacidad en terminales de contenedores en trabajos desde 1977 (Quijada-Alarcón et al., 2012; Camarero et al., 2009; González, 2007).

Con la aparición de la inteligencia artificial y en concreto de las redes neuronales artificiales, se espera una mejora significativa en la planificación portuaria. En relación con la literatura de aplicación de redes neuronales artificiales a la planificación de transportes,

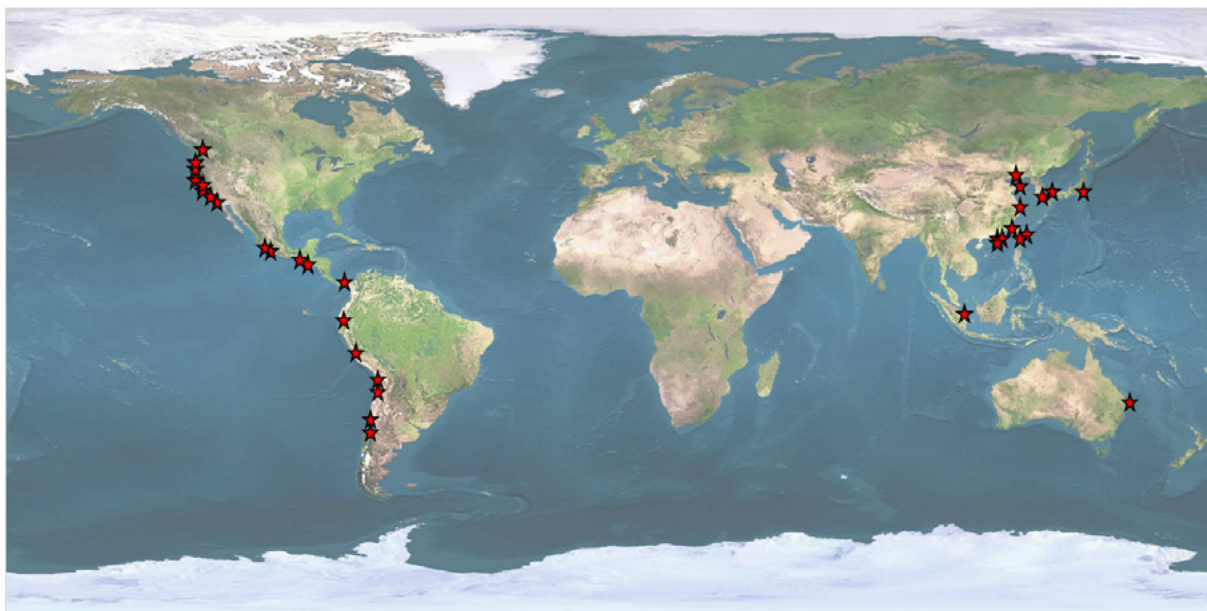


Figura 1. Localización geográfica de los puertos analizados en el estudio. Fuente: *Elaboración propia*

esta es breve, principalmente, debido a la reciente aparición de la inteligencia artificial en nuestra sociedad. Los orígenes de los primeros trabajos datan de 1943 (Warren et al., 1990), con unos comienzos un poco arduos y con poca aceptación en la comunidad investigadora. No es hasta el año 1982, cuando John Hopfield (Hopfield, 1982) inventa el algoritmo Backpropagation, motivo por el que se vuelve a generar interés por este tipo de inteligencia artificial.

Actualmente, existen numerosas universidades (Boston, Helsinki, Stanford, Carnegie-Mellon, California, Massachussets, Politécnica de Madrid) que se encuentran desarrollando investigaciones referentes a las redes neuronales artificiales, así como algunas empresas de carácter privado en países como Japón, EEUU y en Europa.

En Londres (Gosasang et al., 2010) durante el World Congress on Engineering, Gosasang y otros realizan una predicción del tráfico de contenedores en el Puerto de Bangkok aplicando Redes Neuronales, con el objetivo explorar el uso de las redes neuronales para predecir el movimiento de contenedores en el futuro con objeto de planificar las inversiones futuras en la ampliación de dicho puerto.

En otros estudios se realizan comparaciones entre otras técnicas estadísticas y las técnicas de pronósticos de las redes neuronales en el movimiento de contenedores en el mismo puerto (Gosasang et al., 2011). Otros (Moscoso et al., 2011; Pao, 2008; Park et al., 1998) realizan estudios similares, siendo los resultados de estos estudios con redes neuronales, más prometedoras que los realizados con técnicas anteriores.

En cuanto a trabajos relacionados con la planificación de transportes y las redes neuronales artificiales, en España, existe el trabajo elaborado en la Universidad de Cádiz, sobre técnicas de predicción en el tráfico rodado (Moscoso et al., 2011), así como otros de diversa aplicación a la planificación portuaria (Quijada-Alarcon et al., 2012; Rodríguez et al., 2013).

Otros autores, como (Mitrea et al., 2009) publican estudios donde se analizan las ventajas y/o diferencias que tienen los métodos estadísticos puros frente a las redes neuronales en cuanto a la investigación del transporte se refiere (Karlaftis et al., 2011). En este estudio hacen referencia a la particularidad que tienen las redes neuronales para ajustarse a fenómenos no lineales y a su capacidad de aprendizaje.

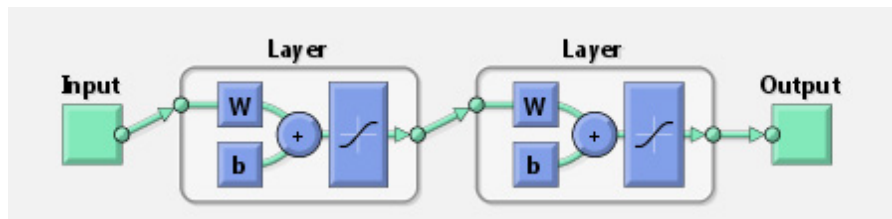


Figura 2. Esquema de la arquitectura de la red. Fuente: Imagen obtenida de la aplicación informática.

Trabajos relacionados con las redes neuronales y su aplicación a planificaciones a corto plazo en el ámbito internacional, son los trabajos de pronósticos a corto plazo mediante redes neuronales (Vlahogianni et al., 2005) de los parámetros de tráfico, como el flujo y la ocupación, los relacionados con flujos de tráfico, la velocidad y la ocupación (Dougherty et al., 1994), estudios sobre problemas de transporte (Dougherty, 1995; Clark et al., 1993) y otros relacionados con los pronósticos a corto plazo de la demanda de pasajeros de tren (Tsai et al., 2009), obteniendo en todos ellos respuestas prometedoras de cara a su uso en un futuro próximo y su aceptación por los resultados obtenidos.

Por último, indicar que existen trabajos (Abdelwahab et al., 2007; Amin et al., 1998; Dharia et al., 2003; Dougherty, 1995; Faghri et al., 1999; Huisken et al., 2009; Park et al., 1998; Sayed et al., 2000; Rodríguez García et al., 2013; Quijada-Alarcon et al., 2012; Li et al., 2013; Zhang, 2001), donde se demuestra que las Redes Neuronales artificiales son más que una alternativa muy prometedora para este tipo de trabajos.

## Procedimiento de trabajo con la red

El procedimiento desarrollado con la red neuronal en esta investigación, nos permite determinar la capacidad futura y nivel de saturación de diferentes puertos mundiales. El procedimiento de trabajo se plantea en un escenario de crisis en el que no se realiza inversión alguna, es decir, no se modifican los parámetros físicos de estudio (línea de atraque, superficie, grúas,...), con lo que la inversión se plantea inicialmente como nula.

Este análisis se realiza mediante un esquema de comparación múltiple, generado de modo aleatorio, a través de la herramienta de trabajo llamada NNttx (Li et al., 2013), basada en las redes neuronales artificiales ANN (Artificial Neural Networks).

Las Redes Neuronales Artificiales, están inspiradas en las redes neuronales biológicas del cerebro humano. Las características principales que reproducen las redes neuronales artificiales se pueden reducir a los siguientes tres conceptos: *procesamiento paralelo*, realizado por neuronas artificiales; *distribuido*, mediante un conjunto de capas; y *adaptativo*, que permite un aprendizaje bajo la experiencia y se acomodan con objeto de minimizar el error (Martín del Brío, 2002).

El modelo de una red neuronal artificial (Figura 2) se compone de un conjunto de entradas  $x_j(t)$ ; unos pesos sinápticos  $(w_{ij})$  que representan el grado de comunicación entre la neurona artificial  $j$  y la  $i$ ; una regla de propagación  $\sigma_i(w_{ij}, x_j(t))$  que determina el potencial de la interacción de la neurona  $i$  con las  $N$  neuronas vecinas; una función de activación  $f_i[a_i(t-1), h_i(t)]$  sobre la neurona  $i$ , que determina el estado de activación de la neurona sobre la base del potencial resultante  $h_i$  y al estado de activación anterior de la neurona  $a_i(t-1)$ ; y una función de salida  $F_i(a_i(t))$  que representa la salida de la neurona  $i$ .

En consecuencia en las redes neuronales el aprendizaje puede ser visto como el proceso de ajuste de los parámetros libres de la red. Partiendo de un conjunto de pesos sinápticos aleatorios, el proceso de aprendizaje busca un conjunto de pesos que permitan a

la red desarrollar correctamente una determinada tarea. El proceso de aprendizaje es un proceso iterativo, en el cual se va refinando la solución hasta alcanzar un nivel de operación suficientemente bueno.

Con objeto de analizar los posibles resultados de la red, se ha desarrollado una metodología, que se resume en los siguientes apartados:

*Fase I: Tomas de datos, clasificación y organización de los valores obtenidos de las terminales*

En esta primera fase se realiza un diagnóstico del estado actual de terminales de contenedores dentro de un ámbito geográfico de lo más variado y disperso en el entorno de las terminales de contenedores y se recopilan, clasifican y ordenan los datos a procesar.

El número de variables a considerar al tratarse de una red neuronal, puede ser casi infinito al poder trabajar con bases de datos de gran tamaño y número de campos.

Se procesan los valores de las terminales durante los años de los que se disponen datos.

Es este proceso se pueden generar bases de datos donde relacionar variables del tipo número de puestos de atraque, capacidad de almacenamiento, tiempos de grúa, tiempos de espera, número y horas de atraque, longitud de muelle, la superficie de la terminal, el número total de grúas o equipos a utilizar, ocupaciones óptimas de las superficies de almacenamiento, la cantidad de contenedores movidos, capacidad de la terminal y sus distintos subsistemas,...

*Fase II: Construcción de la red neuronal artificial*

La construcción de la red neuronal artificial, se genera utilizando la aplicación informática Matlab, donde se crea una red perceptron multicapa mediante un algoritmo de aprendizaje backpropagation con velocidad adaptativa de aprendizaje. El método de entrenamiento se trata de un gradiente descendente momentum. Una vez creada, tras un proceso previo de simulación, se entrena la red presentando unas entradas y salidas conocidas de los datos obtenidos de las terminales de contenedores, con objeto de que la red vaya reajustando su salida mediante la modificación de sus pesos y valores umbrales, de manera que el error de actuación de la red se minimice.

*Fase III: Análisis del funcionamiento de la red y de los resultados obtenidos*

Con anterioridad a cualquier proceso, se debe definir el porcentaje de entrenamiento a considerar, es decir, se debe indicar qué parte de los datos se consideran para el entrenamiento y cuáles para el test, con objeto de comprobar la efectividad del modelo.

Durante este proceso, también se define el número de épocas o el número de veces que se han comparado los ejemplos con las salidas de la red para realizar los ajustes en los pesos de las conexiones.

Para el análisis de funcionamiento de la red, se utilizan las siguientes variables obtenidas del entrenamiento de la red neuronal.

- » Coeficiente de correlación
- » Error cuadrático medio

Algorithms	
Training:	Gradient Descent Backpropagation with Adaptive Learning Rate. (trainingdm)
Performance:	Mean Squared Error (mse)

Figura 3. Algoritmos de la red considerada. Fuente: Imagen obtenida de la aplicación informática.

Durante la fase de entrenamiento, se comparan los valores de la variable de salida o reales, frente a los predichos o estimados por la red. Este proceso nos permite comprobar cómo se aproxima la red a los datos de entrenamiento.

*Fase IV: Validación de la red neuronal.*

Una vez comprobado que las salidas de la red tras el entrenamiento se encuentran dentro de los parámetros considerados como aceptables (Coeficiente de correlación, error cuadrático medio,...), se valida la red, evaluando si su aplicación al caso se estima adecuada.

*Fase V: Alcance del estudio.*

En la última fase, una vez validada la red neuronal, se realiza un estudio pormenorizado de los distintos puertos, evaluando el estado de saturación en base a las instalaciones y equipos actuales. Este estudio se traslada y amplía posteriormente al ámbito país.

## Datos de partida

Se analizan en el estudio valores de 33 puertos en países desarrollados como Japón, Estados Unidos, Hong Kong, Canadá, Singapur, Chile, y también en países emergentes como México y China, entre otros.

El periodo temporal del estudio, se centra en 6 años consecutivos en los que se encuentran los años de mayor incidencia de la crisis actual.

Los algoritmos de la red considerada tal y como recoge la aplicación serían los que se indican en la siguiente figura (Figura 3):

Parámetros de la red:

- » Input layers: 3;
- » Hidden layers: 5;
- » Output layers: 1;
- » Epoch: 1000-3000;
- » Learning rate: 0,3;
- » Momentum: 0,6.

El número de datos o variables tratado es de 1584 registros.

Las variables utilizadas en la red neuronal se han centrado en la toma de variables de origen: los parámetros de longitud de muelle, la superficie de la terminal y el número de grúas pórico, considerando como variable a estimar la cantidad de contenedores movidos o TEU's.

Estos datos de las variables se han recogido en cuadros de análisis, del tipo que se adjunta a continuación (Cuadro 1) y sobre los que se ha hecho trabajar la red diseñada.

Los datos incluidos a continuación son un ejemplo de los utilizados en el estudio.

Cuadro 1. Datos de partida a título de ejemplo. Fuente: Elaboración propia.

Date	Cod_port	Cod_country	Long_berth	Term_surface	Cranes	TEU
2003	1	1	1.610,00	48,50	9,00	639.570,00
2003	2	2	3.803,00	158,33	46,00	1.539.058,00
2003	3	3	1.230,00	1,50	14,00	47.266,00
2003	4	3	3.143,00	5,38	2,00	135.267,00
2003	5	3	1.155,00	37,14	10,00	524.376,00
2003	6	3	2.611,00	23,54	14,00	319.368,00
2003	7	4	3.367,00	113,60	48,00	1.332.746,00
2003	8	4	2.281,00	82,50	64,00	11.280.000,00
2003	9	4	1.110,00	71,50	27,00	2.331.000,00
2003	10	4	2.450,00	100,44	20,00	3.015.000,00
2003	11	4	2.350,00	118,00	30,00	5.258.106,00
2003	12	5	11.040,00	301,33	120,00	10.407.809,00
2003	13	5	700,00	42,00	14,00	1.184.842,00
2003	14	6	1.515,00	23,50	5,00	468.599,00
2003	15	7	270,00	4,90	3,00	65.576,00
2003	16	8	400,00	47,80	3,00	174.108,00
2003	17	9	5.754,00	217,00	67,00	13.100.000,00

### Resultados obtenidos en la investigación

Como se puede observar en el siguiente gráfico (Figura 4), la predicción de la red neuronal es muy acertada, obteniendo valores de:

MSE: 8.2743. e<sup>12</sup>  
 R: 0.9238

#### Estudio por puertos

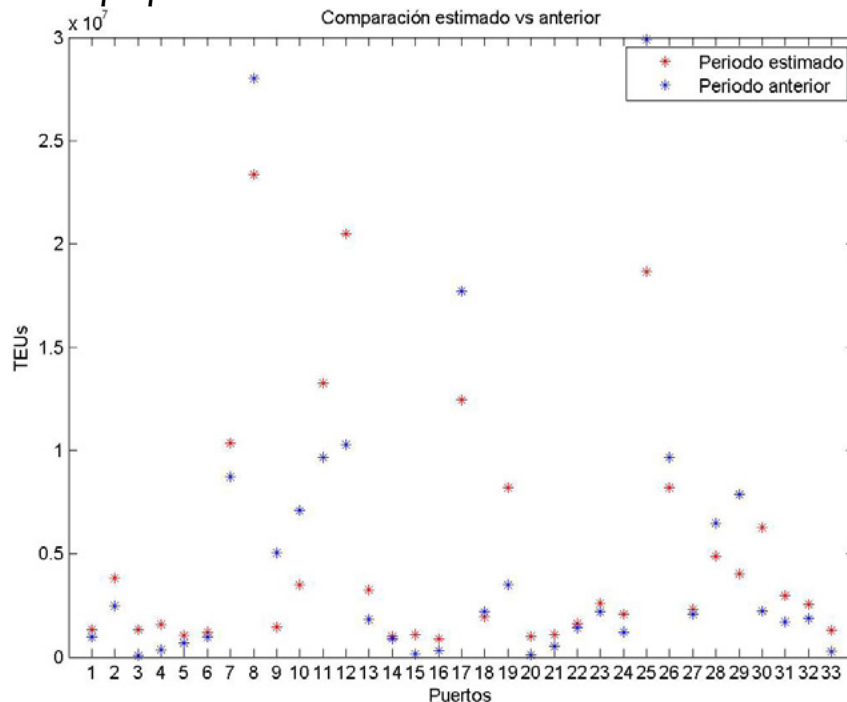


Figura 4. Gráfica de comparación entre la predicción de los TEU a mover por la red y los del último periodo en cada puerto analizado. Fuente: Salida de resultados de la red. Elaboración Propia



Los datos manejados por la red, pertenecen a los puertos indicados en la siguiente tabla (Cuadro 2):

*Cuadro 2. Puertos analizados en la ANN. Fuente: Elaboración Propia.*

Referencia	Nombre	País
1	Brisbane	Australia
2	Vancouver	Canadá
3	Antofagasta	Chile
4	Iquique	Chile
5	San Antonio	Chile
6	Valparaíso	Chile
7	Qingdao	China
8	Shanghai Total	China
9	Xiamen	China
10	Tianjin	China
11	Yantian	China
12	Busan	Corea
13	Kwangyang	Corea
14	Guayaquil	Ecuador
15	Acajutla	El Salvador
16	Puerto Quetzal	Guatemala
17	Hong Kong KCTY	Hong Kong
18	Hong Kong RTT	Hong Kong
19	Yokohama	Japón
20	Ensenada	México
21	Lázaro Cárdenas	México
22	Manzanillo	México
23	Balboa	Panamá
24	Callao	Perú
25	Singapur	Singapur
26	Kaohsiung	Taiwán
27	Keelung	Taiwán
28	Long Beach	Usa
29	Los Angeles	Usa
30	Oakland	Usa
31	Seattle	Usa
32	Tacoma	Usa
33	Portland	Usa

Con los datos de estos puertos tomados durante 6 años consecutivos, que incluyen los años de crisis, se hace trabajar la red, obteniendo valores del estado en que se encuentran los puertos y dónde podrían llegar sus tráficos, con las instalaciones actuales, sin realizar inversiones.

En la siguiente tabla (Cuadro 3) se reflejan aquellos puertos que se encontrarían próximos a la saturación, según sus infraestructuras actuales analizadas en base a los datos recogidos en el apartado “Datos de partida”.

*Cuadro 3. Puertos próximos a la saturación con las infraestructuras actuales. Fuente: Elaboración Propia.*

Referencia	Nombre	País
7	Qingdao	China
8	Shanghái Total	China
9	Xiamen	China
10	Tianjin	China
17	Hong Kong KCTY	Hong Kong
18	Hong Kong RTT	Hong Kong
25	Singapur	Singapur
26	Kaohsiung	Taiwán
29	Los Ángeles	USA

Las relaciones entre los pronósticos de la red y los datos del último año indican la previsión de saturación y por tanto las posibilidades de incrementar los tráficos con las instalaciones actuales, esto se representa del modo que se adjunta a continuación (Figura 5).

Uno de los principales resultados de la investigación establece que las terminales asiáticas son las más saturadas, ya que en las circunstancias actuales sin inversiones en infraestructura ya se encuentran en niveles de saturación, sin embargo las terminales americanas, especialmente las sudamericanas se encuentran con la posibilidad de aumentar su tráfico (Figura 6), sin necesidad de tener que hacer nuevas inversiones a corto plazo.

Asimismo, otros puertos que podrían hasta duplicar sus tráficos actuales con las instalaciones y recursos actuales, son las siguientes terminales (Cuadro 4).

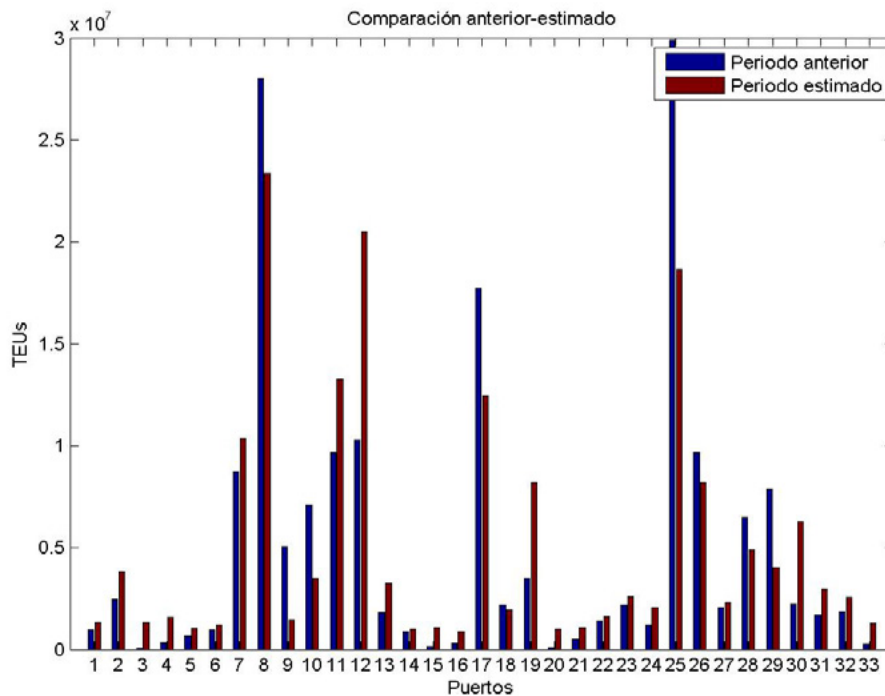


Figura 5. Tráficos esperados para los diferentes puertos en un escenario sin inversión en infraestructuras con la predicción de la ANN. Fuente: Salida de resultados de la red. Elaboración Propia

Cuadro 4. Puertos que podrían duplicar sus tráficos con las infraestructuras actuales. Fuente: Elaboración propia.

Referencia puerto	Nombre terminal	País
3	Antofagasta	Chile
4	Iquique	Chile
15	Acajutla	El Salvador
16	Puerto Quetzal	Guatemala
19	Yokohama	Japón
20	Ensenada	México
21	Lázaro Cárdenas	México
30	Oakland	USA
31	Seattle	USA
33	Portland	USA

Por lo contrario los puertos con un mayor estado de saturación en grado creciente (Figura 7) son: Shanghai Total, Los Ángeles, Hong Kong RTT, Kaohsiung, Qingdao, Hong Kong KCTY, Singapur, Tianjin y Xiamen. La numeración de la siguiente figura (Figura 7) corresponde con el número de referencia dado en la tabla 1.

### Estudio por países

Los resultados obtenidos del análisis de las distintas terminales de contenedores, no realizando inversiones, nos conduce a indicar que los países donde se deberían hacer inversiones, son los que se encuentran localizados en Asia y Norteamérica (Figura 8), hecho que se constata con el crecimiento de dicho tráfico en los últimos años. Todo esto, considerando las terminales estudiadas.



Figura 6. Situación de los puertos analizados en un escenario sin inversiones en infraestructuras.  
Fuente: Elaboración Propia



Figura 7. Escala creciente de puertos con mayor grado de saturación representados por su número de referencia. Fuente: Elaboración Propia



Figura 8. Países con puertos saturados o próximos a la saturación.  
Fuente: Elaboración Propia

En otro nivel, se encuentran los países con posibilidad de incrementar tráficos con las instalaciones actuales, e incluso hasta duplicarlas, como Chile, El Salvador, Guatemala, Japón y México.

## Conclusiones

Una vez analizados los resultados obtenidos podemos indicar que las redes neuronales artificiales pueden usarse para modelar cuestiones relativas a la planificación portuaria de transportes en las terminales de contenedores usando datos históricos.

Uno de los principales resultados de la investigación establece que las terminales asiáticas son las más saturadas, en las circunstancias actuales sin inversiones en infraestructura ya se encuentran en niveles de saturación, sin embargo las terminales americanas, especialmente las sudamericanas que están sobredimensionadas podrán hasta duplicar los tráficos actuales con la oferta de instalaciones disponibles.

En la Figura 9, se adjunta un esquema explicativo de las conclusiones del estado en que se encuentran los 33 puertos analizados en base a la posibilidad de aumento de sus tráficos con las instalaciones y condiciones actuales y sin necesidad de nuevas planificaciones a futuro.

Es de destacar que países como Panamá, en estos momentos con una creciente inversión, aún estarían con capacidad como para soportar un aumento de tráfico. Estos hechos localizados pueden influir de modo singular en estudios de esta tipología, por



Figura 9. Principales conclusiones de la investigación.  
 Fuente: Elaboración Propia

Lo que esta investigación debería ampliarse en años sucesivos a la puesta en servicio de las nuevas obras del canal de Panamá. En esta zona, como en los países cercanos, debido al previsible crecimiento de tráfico ocasionado por las nuevas infraestructuras, aun considerando los resultados obtenidos, podrían necesitar de nuevas ampliaciones, por el hecho de que las nuevas instalaciones podrían generar nuevos mercados con nuevas necesidades. Esta consideración, sería objeto de un nuevo estudio o investigación, una vez obtenidos los datos en estas terminales.

En el estudio desarrollado, los parámetros fijos o variables de contorno considerados han sido, la longitud del muelle, la superficie de la terminal, el número de grúas pórtico y la cantidad de contenedores movidos. Esta investigación deja la puerta abierta a realizar estudios con una misma red ampliando al resto de parámetros vinculantes a la explotación y planificación de la terminal y probar su validación y posible uso.

## Agradecimientos

*Queremos dar las gracias al Departamento de Transportes de la Escuela Técnica Superior Universitaria de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos en la Universidad Politécnica de Madrid por el apoyo y dedicación prestados durante la investigación.*

## Bibliografía

- » ABDELWAHAB, Walid and SAYED, Tarek. (2007). Freight mode choice models using artificial neural networks. *Civil Engineering and Environmental Systems*, vol. 16 n<sup>o</sup>4, Malaysia, pp. 267-286. DOI: [10.1080/02630259908970267](https://doi.org/10.1080/02630259908970267).
- » AMIN, S.Massoud, RODIN, Ervin Y., LIU, A.P., RINK, K. and GARCÍA-ORTIZ, A., (1998). Traffic Prediction and Management via RBF Neural Nets and Semantic Control. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, vol. 13 n<sup>o</sup>5, Malden, (USA), pp. 315-327. [http://massoud-amin.umn.edu/publications/Traffic\\_Prediction.pdf](http://massoud-amin.umn.edu/publications/Traffic_Prediction.pdf).
- » CAMARERO, Alberto, GONZÁLEZ, M<sup>a</sup> Nicoletta, PERY, Pascual. (2009). *Optimización y estudio de la capacidad de las terminales portuarias mediante modelos de simulación y explotación. Determinación de los niveles de servicio*. UPM, UPV, Cenix, Valencia Port, Cedex, España. Código PT-2066-004-14IAPM
- » CLARK, Samuel Delbert, DOUGHERTY, M. S. and KIRBY, Howard. R. (1993). *The use of neural network and time series modes for short term forecasting: a comparative study*, London, PTRC Education Research Services Ltd., pp. 151-62.
- » DHARIA, Abhijit and ADELI, Hojjat. (2003). Neural network model for rapid forecasting of freeway link travel time. *Engineering Application of Artificial Intelligence*, vol. 16 n<sup>o</sup>7, pp. 607-613. DOI: [10.1016/j.engappai.2003.09.011](https://doi.org/10.1016/j.engappai.2003.09.011)
- » DOUGHERTY, Mark. (1995). A review of neural networks applied to transport. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, vol. 3 n<sup>o</sup>4, pp. 247-260. DOI: [10.1016/0968-090X\(95\)00009-8](https://doi.org/10.1016/0968-090X(95)00009-8)
- » DOUGHERTY, Mark, KIRBY, Howard and BOYLE, R. (1994). *Artificial intelligence applications to traffic engineering. Using neural networks to recognize, predict and model traffic.*, Tokio, pp. 235-250.
- » FAGHRI, Ardeshir, ANEJA, Sasdeep and VAZIRI, Manouchehr, (1999). Estimation of percentage of pass - by trips generated by a shopping center using artificial neural networks. *Transportation Planning and Technology*, vol. 22 n<sup>o</sup>4, Newark USA, pp. 271-286. DOI: [10.1080/03081069908717632](https://doi.org/10.1080/03081069908717632)
- » FAN, Henry S.L. and CAO, Jia-Ming. (2000). Sea space capacity and operation strategy analysis system. *Transportation Planning and Technology*, vol. 24 n<sup>o</sup>1, pp. 49-63. DOI: [10.1080/03081060008717660](https://doi.org/10.1080/03081060008717660)
- » GONZÁLEZ, M<sup>a</sup> Nicoletta. (2007). *Metodología para la determinación de parámetros de diseño de terminales portuarias de contenedores a partir de datos de tráfico marítimo*, Tesis en Universidad Politécnica de Madrid.
- » GOSASANG, Veerachai, CHANDRAPRAKAIKUL, Watcharavee and KIATTISIN, Supaporn. (2011). A Comparison of Traditional and Neural Networks Forecasting Techniques for Container Throughput at Bangkok Port. *The Asian Journal of Shipping and Logistics*, vol. 27 n<sup>o</sup>3, pp. 463-482. DOI: [10.1016/S2092-5212\(11\)80022-2](https://doi.org/10.1016/S2092-5212(11)80022-2)
- » GOSASANG, Veerachai, CHANDRAPRAKAIKUL, Watcharavee and KIATTISIN, Supaporn. (2010). An Application of Neural Networks for Forecasting Container Throughput at Bangkok Port, *Proceedings of the World Congress on Engineering*, London. [http://www.iaeng.org/publication/WCE2010/WCE2010\\_pp137-141.pdf](http://www.iaeng.org/publication/WCE2010/WCE2010_pp137-141.pdf)
- » HOPFIELD, John.J., (1982). Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities. *Proceedings of the national academy of sciences of the USA*, vol 79 n<sup>o</sup>8, pp. 2554-2558. <http://www.pnas.org/content/79/8/2554.full.pdf+html>

- » HUISKEN, Giovanni. and VAN BERKUM, Eric. (2009). Short-Term travel time prediction using a Neural Network, *13th Meeting of the EURO Working Group on Transportation*, Padua, Italy. [http://www.iasi.cnr.it/ewgt/13conference/17\\_huisken.pdf](http://www.iasi.cnr.it/ewgt/13conference/17_huisken.pdf)
- » KARLAFTIS, Matthew. and VLAHOGIANNI, Eleni. (2011). Statistical methods versus neural networks in transportation research: Differences, similarities and some insights. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, vol. 19 nº3, pp. 387-399. DOI: [10.1016/j.trc.2010.10.004](https://doi.org/10.1016/j.trc.2010.10.004)
- » LI, Xuefei., CAMARERO ORIVE, Alberto., SOLER FLORES, Francisco. and GONZALEZ CANCELAS, Nicoletta. (2013). NNtex: A toolbox to use the Neural Networks in an easy way. *Pensamiento Matemático*, vol. 3 nº1, Madrid, Spain, pp. 149-154. [http://www2.caminos.upm.es/Departamentos/matematicas/revistapm/revista\\_impresa/vol\\_III\\_num\\_1/inv\\_1\\_nntex.pdf](http://www2.caminos.upm.es/Departamentos/matematicas/revistapm/revista_impresa/vol_III_num_1/inv_1_nntex.pdf)
- » LÓPEZ GONZÁLEZ, Alejandro. (2009). *El contenedor, la terminal y métodos informáticos*, Tesis en Facultad Náutica de Barcelona. Universitat Politècnica de Catalunya.
- » MALONI, Michael. and JACKSON, Eric.C. (2005). North American Container Port Capacity. An Exploratory Analysis. *Transportation Journal*, vol. 44 nº2, pp. 16-36. <http://www.jstor.org/discover/10.2307/20713603?uid=3737952&uid=2&uid=4&sid=21102948527551>
- » MARTÍN DEL BRÍO, Bonifacio. and SANZ MOLINA, Alfredo. (2002). *Redes neuronales y sistemas difusos*. 2ª ed. México D.F., México: Alfaomega.
- » MITREA, C., LEE, C. and WU, Z., (2009). A Comparison between Neural Networks and Traditional Forecasting Methods: A Case Study. *International Journal of Engineering Business Management*, Wai Hung Ip (Ed). DOI: [10.5772/6777](https://doi.org/10.5772/6777)
- » MOSCOSO LÓPEZ, José Antonio., RUIZ AGUILAR, Juan Jesús., CERBÁN JIMÉNEZ, María del Mar. (2011). *Técnicas de predicción en el tráfico Ro-Ro en el nodo logístico del Estrecho de Gibraltar*. Sesión Iberoamericana IAME 2011 Conference. Santiago de Chile, CHILE. <http://www.cepal.org/transporte/noticias/noticias/3/45303/PANELA-5DOCUMENTO.pdf>
- » ORTEGA, Raimundo. (2009). Cómo se generó la catástrofe, y quiénes se enteraron y quiénes no. *Revista de libros de la Fundación Caja Madrid*, nº153, pp. 11-14. [http://www.revistadelibros.com/articulo\\_imprimible\\_pdf.php?art=4417&t=articulos](http://www.revistadelibros.com/articulo_imprimible_pdf.php?art=4417&t=articulos)
- » PAO, Hsiao-Tien. (2008). A comparison of neural network and multiple regression analysis in modeling capital structure. *Expert Systems with Applications*, vol. 35 nº3, pp. 720-727. DOI: [10.1016/j.eswa.2007.07.018](https://doi.org/10.1016/j.eswa.2007.07.018)
- » PARK, Dongjoo. and RILETT, Laurence R. (1998). Forecasting multiple-period freeway link travel times using modular neural networks. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, vol. 1617, pp. 163-170. DOI: [10.3141/1617-23](https://doi.org/10.3141/1617-23)
- » QUIJADA-ALARCON, Jorge, GONZÁLEZ CANCELAS, Nicoletta, CAMARERO ORIVE, Alberto and SOLER FLORES, Francisco. (2012). Road network analysis using decision trees algorithm: A case of study of Panama. *Advanced Research in Scientific Areas*. <http://www.arsa-conf.com/archive/?vid=1&aid=2&kid=60101-242>
- » RODRÍGUEZ GARCÍA, Tomás, GONZÁLEZ CANCELAS, Nicoletta and SOLER FLORES, Francisco. (2013). Setting the port planning parameters in container terminals through artificial neural networks, *Global Virtual Conference*. <http://www.gv-conference.com/archive/?vid=1&aid=2&kid=30101-9>

- » SAYED, Tarek and RAZAVI, Abdolmehdi. (2000). Comparison of Neural and Conventional Approaches to Mode Choice Analysis. *Journal of Computing in Civil Engineering*. vol. 14 nº1, pp. 23-30. DOI: [10.1061/\(ASCE\)0887-3801\(2000\)14:1\(23\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0887-3801(2000)14:1(23))
- » TSAI, Tsung-Hsien, LEE, Chi-Kang and WEI, Chien-Hung. (2009). Neural network based temporal feature models for short-term railway passenger demand forecasting. *Expert Systems with Applications*, vol. 36 nº2, pp. 3728-3736. DOI: [10.1016/j.eswa.2008.02.071](https://doi.org/10.1016/j.eswa.2008.02.071)
- » VLAHOGIANNI, Eleni I., KARLAFTIS, Matthew G. and GOLIAS, John C. (2005). Optimized and meta-optimized neural networks for short-term traffic flow prediction: A genetic approach. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, vol. 13 nº3, pp. 211-234. DOI: [10.1016/j.trc.2005.04.007](https://doi.org/10.1016/j.trc.2005.04.007)
- » WARREN S, McCulloch and WALTER, Pitts. (1990). A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. *Bulletin of Mathematical Biology*, vol. 52 nº1-2, pp. 99-115. DOI: [10.1016/S0092-8240\(05\)80006-0](https://doi.org/10.1016/S0092-8240(05)80006-0)
- » ZHANG, Guoqiang Peter. (2001). An investigation of neural networks for linear time-series forecasting. *Computers & Operations Research*, vol. 28 nº12, pp. 1183-1202. DOI: [10.1016/S0305-0548\(00\)00033-2](https://doi.org/10.1016/S0305-0548(00)00033-2)

### **Tomás Rodríguez García / t.rodriiguez@upm.es**

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Doctorando del Departamento de Ingeniería Civil. Transportes en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad Politécnica de Madrid. Profesor Asociado en el Departamento de Ingeniería Civil. Infraestructuras del transporte, en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Civil de la Universidad Politécnica de Madrid.

### **Nicoletta González Cancelas / nicoleta.gcancelas@upm.es**

Doctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos por la Universidad Politécnica de Madrid. Profesor Ayudante Doctor del Departamento de Ingeniería Civil. Transportes en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad Politécnica de Madrid. Es especialista en Logística y transporte. Pertenece al Grupo de Investigación reconocido de la Universidad Politécnica de Madrid Grupo de Investigación Logística y Explotación del Transporte y Gestión Operativa. Let&Go.

### **Francisco Soler Flores / fsoler@upm.es**

Licenciado en Matemáticas por la Universidad de Almería. Doctorando del Departamento de Ingeniería Civil. Transportes en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad Politécnica de Madrid. Pertenece al Grupo de Investigación reconocido de la Universidad Politécnica de Madrid Grupo de Investigación Logística y Explotación del Transporte y Gestión Operativa. Let&Go. Especialista en matemáticas aplicadas a la Ingeniería Civil.