

# Modelo de Análisis de Datos de la Envolvente (DEA) con Variables no Discrecionales para Medir la Eficiencia de la Terminal Pesquera del Puerto de Mar del Plata

Esteban, Alejandra María<sup>\*(1)</sup>, Zárate, Claudia <sup>(2)</sup>, Mortara, Verónica<sup>(3)</sup>

Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Mar del Plata. Juan B Justo 4302, Mar del Plata, Buenos Aires, Argentina.

<sup>(1)</sup>[aesteban@fi.mdp.edu.ar](mailto:aesteban@fi.mdp.edu.ar). <sup>(2)</sup>[cnzarate@fi.mdp.edu.ar](mailto:cnzarate@fi.mdp.edu.ar). <sup>(3)</sup>[vmortara@fi.mdp.edu.ar](mailto:vmortara@fi.mdp.edu.ar)

## RESUMEN.

Los puertos modernos, en general, han dejado de tener una situación preferencial respecto a sus zonas de influencia, debido a las cadenas integradas de transporte. En este sentido, la evaluación de la competitividad a través de la productividad y eficiencia resulta relevante. Mar del Plata posee un importante puerto multipropósito, destacándose principalmente como terminal pesquera. Debido a las características multiproducto o multiservicio de los puertos, la utilización de indicadores parciales para monitorear su funcionamiento no permiten la evaluación de la contribución conjunta de todos los insumos y productos que participan. Una metodología que brinde una perspectiva sistémica e integrada de observación de las unidades bajo estudio o unidades de decisión (DMUs), resulta superadora. El método de análisis de la envolvente de datos (*Data Envelopment Analysis* – DEA) es una herramienta de evaluación económica cuantitativa válida para estudiar el desempeño comparativo de la productividad a través de la construcción de una frontera empírica de eficiencia. Esta metodología posee la ventaja de facilitar un tratamiento multidimensional, tanto desde el espacio de los insumos como del de los productos. El objetivo de este trabajo es comparar el puerto de Mar del Plata con otras terminales pesqueras del país. Para ello, se propone un modelo DEA orientado a la entrada, de manera de optimizar los insumos, para una salida determinada. En el mismo, se suponen retornos a escala constantes y variables, para calcular las eficiencias técnica y de escala. Dado la importancia que presenta la infraestructura en el funcionamiento de un puerto, se contempla su influencia en el grado de eficiencia, a través de la incorporación de variables no discrecionales o no controlables. Como trabajo futuro se plantea la validación del modelo formulado, utilizando datos reales y simulación.

**Palabras Claves:** Competitividad global, productividad, DEA, Terminal pesquera, Puerto de Mar del Plata.

## ABSTRACT

In general modern ports have ceased to have a preferential status regarding their influence areas, because of the integrated transport chains. In this sense, the evaluation of competitiveness through productivity and efficiency is relevant. Mar del Plata has an important multipurpose port, standing out mainly as a fishing terminal. Due to the multiproduct or multiservice characteristics, the use of partial indicators to monitor ports performance does not analyze the joint contribution of all inputs and outputs involved. A methodology to provide a systematic and integrated observation of the units under analysis or decision units (DMUs) it overcomes. Data Envelopment Analysis method (DEA) is a valid quantitative economic tool to study productivity comparative performance through the construction of an empirical efficient frontier. This methodology has the advantage of providing a multidimensional treatment of both sides input and output spaces. The aim of this study is to compare the port of Mar del Plata with other fishing terminals in the country. DEA input oriented model is proposed to optimize the inputs for a given output. Constant and variables returns to scale are assumed to calculate technical and scale efficiencies. Because of the importance that the infrastructure has in operation of a port, its influence is seen in the degree of efficiency through non-discretionary or non-controllable variables incorporation. As a future work, model validation of the formulated model is raised using real data and simulation.

**Keywords:** Global competitiveness, productivity, DEA, Fishing Terminal, Port of Mar del Plata.

## 1. INTRODUCCIÓN.

En el mundo globalizado de hoy, el mercado no se limita a una ubicación geográfica particular, por ello, la competitividad industrial (CI) se ha convertido en un objetivo fundamental de los países y regiones. Por lo tanto, es importante contar con un marco para el análisis de la posición competitiva. La capacidad de las firmas para sobrevivir y tener una ventaja competitiva en los mercados globales depende, entre otras cosas, de la eficiencia de las instituciones públicas de su país, de la excelencia de las infraestructuras educativas, de la salud y de la comunicación, así como de la estabilidad política y económica de la nación. Pero, un entorno macroeconómico excepcional por sí solo, no puede garantizar un alto nivel de competitividad, a menos que las firmas creen valiosos bienes y servicios con un proporcionalmente alto nivel de productividad. Por lo tanto, las características micro y macroeconómicas de una economía en conjunto, determinan su nivel de productividad y competitividad [1].

Aunque muchos consideran la competitividad como sinónimo de productividad, estos dos términos están muy relacionados pero son diferentes. La productividad se refiere a la capacidad interna de una organización, mientras que la competitividad se refiere a la posición relativa de una organización frente a sus competidores [2].

La globalización reforma los aspectos productivos, tecnológicos, políticos y socio-culturales, transformando los espacios vigentes, provocando cambios territoriales generalizados, debido a esta realidad surgen nuevos ámbitos de importancia. De cara a propiciar el desarrollo local, es necesario trabajar en varios aspectos dentro del territorio, primero se debe posicionar el mismo estratégicamente, segundo es importante tomar lo local como elemento de transformación socio-político-económica y tercero es necesario aprovechar el potencial endógeno de los territorios. Sumado a ello, es fundamental destacar la introducción de innovaciones que abren nuevos horizontes.

Los factores que están reestructurando la base productiva de los territorios, son [3].

- La tendencia hacia estructuras de producción más eficientes.
- La introducción de la microelectrónica y las tecnologías de la información, las cuales permiten la vinculación de las diferentes fases de los procesos económicos.
- Los cambios en los métodos de gestión.
- La relevancia de la calidad y la diferenciación de productos, como estrategia de competitividad.
- La renovación constante de productos y procesos productivos, que ocasionan el acortamiento de los ciclos de vida.
- La identificación de la segmentación de la demanda y de diferentes nichos de mercado.

Mar del Plata cuenta con un puerto de ultramar el cual se constituye en una terminal multipropósito. En él se desarrollan actividades de distinta naturaleza, tales como operaciones relacionadas con la actividad pesquera, operaciones de exportación e importación, servicios derivados de industria naval y del turismo, siendo la pesquera una de las más importantes.

Los puertos se han transformado en importantes centros de desarrollo regional, económico y social, constituyendo nodos de conexión esenciales entre el transporte marítimo y el terrestre. El funcionamiento eficiente de cualquiera de las actividades que se desarrollan en su entorno, es fundamental para que los materiales y productos que utilizan el transporte marítimo, lleguen a destino con el mínimo costo y en el menor plazo de tiempo. La búsqueda de una mayor competitividad tiene normalmente como consecuencia la generación de una eficiencia mayor. En la industria portuaria, esta búsqueda ha tomado la forma de reformas estructurales en cuanto al modelo de gestión y propiedad. La medición del desempeño, a través de distintas metodologías, en un ámbito portuario permite que los distintos agentes que interactúan mejoren su comportamiento y gestión [4].

El desarrollo sostenible de un puerto considera su desempeño desde cuatro perspectivas diferentes y complementarias:

- la económica, referida a la necesidad de rentabilidad sin descuidar los niveles de desarrollo y bienestar;
- la social, para atender los impactos externos e internos que se puedan producir conservando la protección social, el acceso a la educación y cultura;
- la ambiental, tendiente a cuidar el impacto que pudiera ejercer la operación del puerto sobre el ambiente, conservando los recursos, la capacidad y la calidad del ecosistema;
- la institucional, para asegurar que el funcionamiento, asignación de roles y los cambios de organización en la actividad portuaria sean oportunos, eficientes y efectivos, que permitan la adaptación a los cambios sin mayores problemas financieros, organizativos y administrativos, tanto a mediano como largo plazo [5].

Los indicadores, físicos, económico-financieros o de productividad, si bien brindan información para el monitoreo continuo y permiten encontrar deficiencias en la cadena logística, poseen la desventaja de ser parciales, por lo cual sólo muestran relaciones de un solo producto e insumo. Los puertos poseen la característica de ser multiproducto y/o multiservicio, por lo tanto para

evaluar la productividad total de los factores (PTF) es necesaria una metodología de análisis sistémica, que permita facilitar un tratamiento multidimensional [6].

Para la medición de la eficiencia de las unidades de decisión o gestión es relevante tener un marco de referencia teórico, es decir, alguna función de frontera que delimite el espacio de situaciones posibles.

La metodología de Análisis de la Envolvente de Datos (*Data Envelopment Analysis – DEA*) es una técnica de programación matemática, a partir de la cual se obtiene una superficie envolvente, frontera eficiente o función de producción empírica a través de los datos disponibles de una muestra de unidades decisionales de transformación (*Decision Making Units – DMUs* en la terminología habitual). En este análisis se calcula la eficiencia relativa para cada DMU comparando sus entradas y salidas respecto a las demás DMUs, de manera que incluye todas las unidades eficientes dentro de la frontera con sus combinaciones lineales, y las unidades ineficientes quedan fuera de la misma.

El objetivo de este trabajo es diseñar una metodología apropiada para medir la competitividad global de las terminales pesqueras, comparables con la terminal del puerto de Mar del Plata, utilizando el método de análisis de la envolvente de datos– DEA.

## 2. MARCO TEÓRICO.

### 2.1. Indicadores de Productividad.

La medición de la productividad es necesaria para el desarrollo de cualquier actividad económica y es considerada una herramienta útil para los distintos actores que intervienen. No sólo se utiliza para una planificación de las operaciones, sino también a la hora de establecer estrategias a largo plazo, tanto a nivel local, regional, nacional y/o internacional, tendientes a realizar una proyección de los próximos planes de comercio y transporte, analizando la competitividad del sistema. La medición del desempeño permite orientar el rumbo de una actividad en la dirección esperada [7].

Los conceptos de productividad y eficiencia, si bien se utilizan en forma indistinta no significan lo mismo. Por productividad, se entiende a la capacidad de transformar y combinar recursos o insumos de entrada en productos o servicios de salida. Se define como el cociente entre la cantidad de bienes o servicios producidos y la cantidad de recursos o insumos [8].

En los casos donde se posee una sola entrada y salida se habla de productividad, Ecuación 1; cuando existen múltiples entradas y salidas se emplea la productividad total de los factores (PTF), Ecuación 2.

$$\text{Productividad un solo insumo un solo producto} = \frac{\text{producción creada}}{\text{recurso consumido}} = \frac{\text{output}}{\text{input}} \quad (1)$$

$$\text{Productividad varios insumos varios productos (PTF)} = \frac{\text{suma ponderada de outputs}}{\text{suma ponderada de inputs}} \quad (2)$$

En realidad, la productividad de una entidad aislada no tiene relevancia, a menos que se realice una comparación con una unidad de referencia, obteniendo una medida de eficiencia. Por lo tanto la eficiencia es una medida de productividad relativa. Una empresa puede ser técnicamente eficiente, pero a pesar de ello puede ser capaz de aumentar su productividad explotando economías de escala.

Toda ineficiencia en la cadena logística debe ser identificada, para posteriormente ser corregida a partir de redefinir sus procesos y operaciones. Luego, se requerirá de una evaluación y comparación para verificar si se han alcanzado las metas perseguidas. En este proceso jugarán un rol significativo la correcta utilización y definición de indicadores de productividad [9].

Para diseñar indicadores de producción se debe establecer previamente, los objetivos que se persiguen y quién los establece. El puerto, es analizado como un sistema multiproductivo, la meta principal, como la de toda organización, debe ser minimizar el uso de recursos de entrada y maximizar los volúmenes producción y/o servicios [6]. No existe un consenso sobre la definición de indicadores de producción que evalúen la actividad portuaria. En lo que respecta a las variables de entrada, se trabaja sobre capital y trabajo, y como variables de salida, se utilizan las relacionadas con el tráfico de carga, existen distintas aproximaciones [9].

### 2.2. Análisis de la Envolvente de Datos.

#### 2.2.1 Conceptos de productividad y eficiencia.

El análisis de la eficiencia y la productividad es un campo de creciente importancia tanto en la actividad económica como en sectores de infraestructura y servicios, ya que permite poder comparar el desempeño de las unidades productivas o también llamadas unidades decisionales de transformación (UDT o en inglés *desition making unit*, DMU) [6].

Desde el punto de vista económico, se habla de asignación eficiente de recursos utilizando el óptimo de Pareto, es decir, cuando no existe otra asignación posible que mejore la situación de

alguna unidad productiva sin perjudicar a otra. Por lo tanto, se trata de un concepto relativo, el cual se basa en la comparación del desempeño de una unidad respecto de otras similares.

La noción de eficiencia no se basa en un concepto global, dado que existen diferentes definiciones y características de la misma. Normalmente se habla de eficiencia técnica. Las medidas de eficiencia técnica pueden ser evaluadas desde dos dimensiones. La primera hace referencia a evitar desaprovechamiento a través de la minimización de los recursos, también llamada orientación a la entrada (*input*). Para ello se propone optimizar los recursos para obtener un nivel dado de salida (*output*). En la otra dimensión, orientada a la salida, evalúa su maximización para un nivel dado de entrada.

Otro tipo de eficiencia es la eficiencia de escala, la cual significa que la firma no está operando a escala óptima: si esta es muy pequeña va a presentar retornos a escala crecientes, por otro lado si la firma es muy grande presentará retornos a escala decrecientes. En ambos casos la eficiencia debe ser mejorada cambiando la escala de operación, es decir mantendrá el mix de entrada pero cambiará el tamaño o capacidad de operación. La medida de eficiencia de escala indica en cuánto puede aumentar la productividad. En el caso de retornos a escala constante, es decir cuando se está operando en la escala óptima, la eficiencia técnica orientada a la entrada coincide con la de salida.

Por otro lado, la eficiencia asignativa se refiere a la capacidad de combinar las entradas y salidas de la forma más adecuada teniendo en cuenta sus precios y productividades marginales. Este tipo de eficiencia, con orientación a la entrada, indica la mezcla de insumos que produce una cantidad dada de salida a un costo mínimo, teniendo en cuenta sus precios.

La suma de la eficiencia técnica, la eficiencia de escala y la eficiencia asignativa constituyen la eficiencia global o económica.

### **2.2.2 Evaluación y medición de la productividad y eficiencia.**

La evaluación y medición de la eficiencia de las unidades de decisión y gestión implica tener como marco de referencia teórico alguna función que delimite el espacio de situaciones posibles. La primera función a considerar es la función de producción, que se define como la cantidad de salida  $Q$  que se puede obtener a partir de unas cantidades determinadas de un conjunto de variables de entrada ( $x_1, x_2$ ), Ecuación 3, Figura 1, [10]:

$$Q = f(x_1, x_2) \quad (3)$$

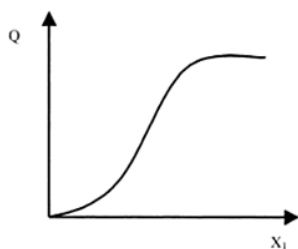


Figura 1 *Función de Producción.*

Por consiguiente, la función de producción es una frontera que separa las combinaciones de salida-entradas posibles de las que no son factibles, dada una tecnología. Cuando se debe describir un proceso de múltiples salidas, no se habla de función de producción, sino de conjunto de posibilidades de producción, set de producción, conjunto de transformaciones o tecnología de producción. Este conjunto está formado por todos los procesos productivos imaginables factibles, no sólo reales y observables en el sistema, sino además todos los que potencialmente podrían realizarse teniendo en cuenta el estado de la ciencia y tecnología y las condiciones en que este proceso se realiza.

### **2.2.3 Modelos de Análisis de la Envolvente de Datos (DEA).**

La metodología de Análisis de la Envolvente de Datos (DEA) utiliza el método de programación lineal para construir una frontera empírica, no paramétrica por tramos sobre los datos. El primer modelo, asumiendo retornos constantes a escala, fue presentado por Charnes, Cooper y Rhodes [11], conocido en la literatura como CCR. El objetivo de la metodología es obtener una envolvente de datos que incluya todas las unidades eficientes, de esta manera las unidades ineficientes quedan por debajo de la misma. La envolvente representa la frontera eficiente, por lo tanto la distancia de las unidades ineficientes a la misma constituye una medida de la ineficiencia relativa, dado que se compara con unidades que operan en forma similar respecto a los factores productivos utilizados para obtener determinadas salidas [12].

En la práctica resulta más sencillo el cálculo, en la forma envolvente, también llamada dual<sup>1</sup>, a través del cual se construye una aproximación lineal por tramos a la verdadera frontera, a partir de los datos de todas las unidades que forman la muestra, el modelo se muestra en las Ecuaciones 4 a 6:

$$\text{Min}_{\theta, \lambda} z_0 = \theta \quad (4)$$

$$\sum_{k=1}^N \lambda_k y_{jk} \geq y_{j,0} \quad (5)$$

$$\theta x_{i,0} \geq \sum_{k=1}^N \lambda_k x_{i,k} \quad (6)$$

$$j = 1, \dots, m; i = 1, \dots, n; k = 1, \dots, N$$

$$\lambda_k \geq 0$$

Siendo:

$x_{ik}$  cantidad de entrada  $i$  consumida por la  $k$ -ésima DMU

$x_{i0}$  cantidad de entrada  $i$  consumida por la DMU<sub>0</sub> analizada

$y_{jk}$  cantidad de salida  $j$  generada en la  $k$ -ésima DMU

$y_{j0}$  cantidad de salida  $j$  generada por la DMU<sub>0</sub> analizada

$i = 1, \dots, n$  (entradas),  $j = 1, \dots, m$  (salidas),  $k = 1, \dots, N$  (DMUs)

$\lambda_k$  el ponderador de la  $k$ -ésima DMU

$z_0 = \theta$  representa la medida de eficiencia técnica de la DMU<sub>0</sub>, cuanto más cercano a 1 sea, la DMU resulta más eficiente. En el límite indica que la DMU será eficiente en relación con las otras unidades intervinientes.

En el problema dual se plantea una restricción para cada producto respecto a todas las DMUs, más una restricción por cada insumo para todas las DMUs. El modelo se debe resolver  $N$  veces, una por cada DMU, por lo tanto se obtiene un valor de  $\theta$  para cada una de ellas.

La suposición CCR es apropiada cuando todas las firmas están operando a escala óptima. Cuando la competencia es imperfecta, por regulaciones gubernamentales, restricciones imperfectas, la unidad no puede operar en la escala óptima. En este caso el uso del modelo CCR provoca medidas de eficiencia técnica que están confundidas por la eficiencia de escala.

Banker, Charnes y Cooper, generalizaron el modelo anterior, para considerar la existencia de rendimientos variables a escala, usualmente se conoce como DEA-BCC. Al modelo CCR se agrega la restricción de convexidad, ecuación [13], Ecuación 7.

$$\sum_{k=1}^N \lambda_k = 1 \text{ restricción de convexidad} \quad (7)$$

## 2.2.4 Otros modelos.

Se pueden plantear varias extensiones del modelo DEA, que permiten calcular la eficiencia asignativa, variables ambientales, el tratamiento de holguras, la eficiencia de la congestión, métodos de bootstrap<sup>2</sup>, entre otras [12].

### 2.2.4.1 Variables no discretionales

En este caso se hace una diferenciación entre variables que están bajo control en el corto plazo y otras que no lo están.

Para ello se formula un modelo DEA orientado a la entrada, donde solamente se busca reducir las entradas sobre las cuales se tiene control. Por lo tanto se dividen las entradas en discretionales y no discretionales,  $\mathbf{x}_k^D$  y  $\mathbf{x}_k^{ND}$  respectivamente. Donde el parámetro  $\theta$  está solamente asociado a las variables discretionales [12].

$\mathbf{x}_k^D$  vector  $n \times 1$ , para la empresa  $k$

$\mathbf{x}_k^{ND}$  vector  $L \times 1$ , para la empresa  $k$

En resumen, se poseen  $n$  inputs bajo control y  $L$  inputs fuera de control en el corto plazo.

El modelo DEA-BCC orientado a la entrada se presenta de la siguiente forma, Ecuaciones 8 a 12:

$$\text{Min}_{\theta, \lambda} z_0 = \theta \quad (8)$$

s.a:

$$\sum_{k=1}^N \lambda_k y_{jk} \geq y_{j,0} \quad (9)$$

<sup>1</sup> Todo modelo de programación lineal original, llamado primal, tiene un dual asociado, el que puede ser empleado para obtener la solución, dado que ambos comparten las condiciones de optimalidad. Para el modelo dual se define una variable dual por cada restricción y una restricción dual por cada variable primal.

<sup>2</sup> Bootstrap: método de remuestreo de datos que permite resolver problemas relacionados con la estimación de intervalos de confianza o la prueba de significación estadística.

$$\theta x_{i,0}^D \geq \sum_{k=1}^N \lambda_k x_{i,k}^D \quad (3)$$

$$x_{i,0}^{ND} \geq \sum_{k=1}^N \lambda_k x_{i,k}^{ND} \quad (11)$$

$$j = 1, \dots, m; i = 1, \dots, n; k = 1, \dots, N; l = 1, \dots, L$$

$$\sum_{k=1}^N \lambda_k = 1 \text{ restricción de convexidad} \quad (12)$$

$$\lambda_k \geq 0$$

### 3. DESARROLLO.

A lo largo del extenso litoral marítimo argentino existen más de 100 puertos marítimos y fluviales, que ofrecen distintas características. La provincia de Buenos Aires comprende terminales fluviales y marítimas. Sobre el río Paraná, están situados los puertos San Nicolás, San Pedro, Campana y Zárate, en el Río de la Plata, se ubican los puertos de Dock Sud y La Plata y sobre el litoral atlántico, se encuentran los puertos de Mar del Plata, Quequén, Coronel Rosales y Bahía Blanca [14]. Sobre el resto del litoral atlántico, la provincia de Río Negro posee los puertos de San Antonio Oeste y San Antonio Este; en Chubut se encuentran los puertos de Caleta Córdova, Comodoro Rivadavia, Puerto Madryn, Rawson y Camarones; Santa Cruz incluye Caleta Olivia/Paula, Puerto Deseado, Punta Quilla y Puerto San Julián y por último en Tierra del Fuego se localizan los puertos de Ushuaia y Almanza.

De estos puertos, el presente trabajo se centra en el puerto de Mar del Plata, el cual es el principal puerto pesquero del país, ha concentrado aproximadamente el 54% de los desembarques nacionales en los últimos cinco años, Figura 2. En 2014 se registraron 416.160 toneladas desembarcadas, dicho volumen representa el 53% del total a nivel nacional [15].

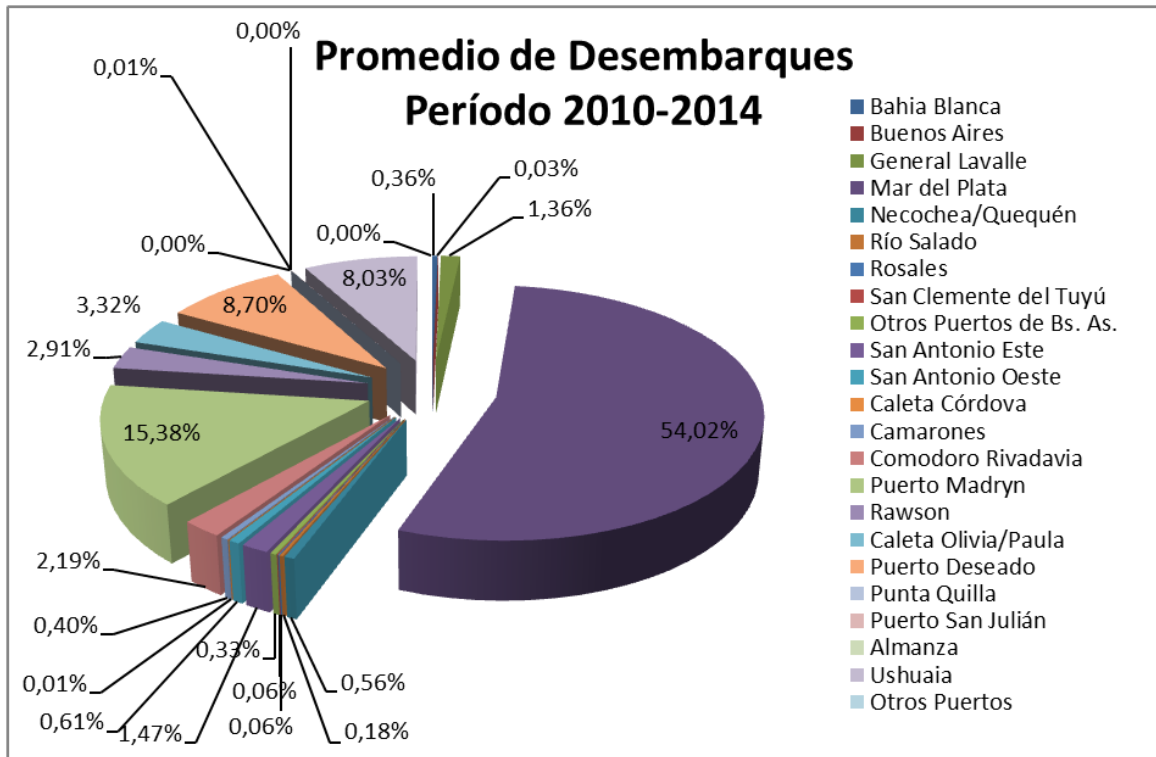
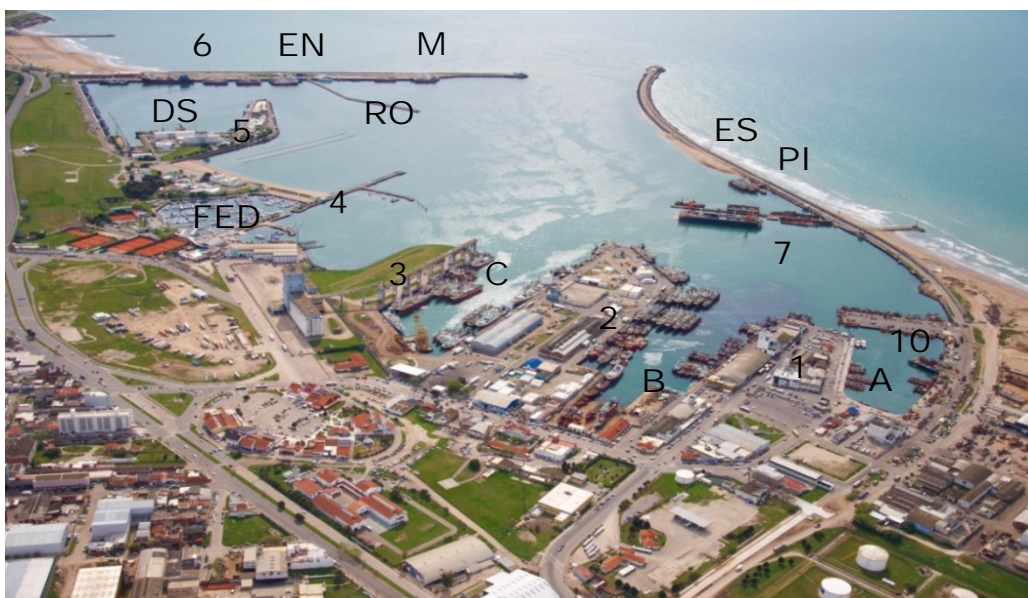


Figura 2 Promedio de Desembarques de los Puertos Pesqueros Argentinos 2010-2014.

En Mar del Plata se inició la historia y el desarrollo del sector pesquero, es el asiento del mayor número de plantas procesadoras, así como también es el mayor proveedor del mercado interno [16]. Este puerto provincial de uso público, administrado por una delegación dependiente de la Administración Portuaria Bonaerense. Es un puerto marítimo de ultramar y pesquero, con un área netamente militar, actual asiento de la Base Naval Mar del Plata, que se encuentra bajo jurisdicción de la Prefectura Mar del Plata. Además, constituye una terminal multipropósito, donde

se suman a la industria pesquera, actividades de distinta naturaleza como exportación, importación, industria naval y explotación turística [17], (ver Figura 3).



Referencias

A	Dársena A o de pescadores
B	Dársena B o de cabotaje
C	Dársena A o de ultramar
DS	Dársena de submarinos
FED	Fondeadero embarcaciones deportivas
EN	Escollera norte
ES	Escollera sur
MP	Muelle de pasajeros
PI	Posta de inflamables
RO	Rompeolas
1	Espigón N° 1 Permissionarios
2	Espigón N° 2 o muelle de cabotaje
3	Espigón N° 3 o muelle de ultramar
4	Espigón N° 4 Clubes
5	Espigón N° 5 Base Naval
6	Espigón N° 6 interior a la escollera norte
7	Espigón N° 7 atracadero de embarcaciones inactivas
10	Espigón N° 10 o muelle de pescadores

Figura 3 Vista aérea del puerto de Mar del Plata.

La zona portuaria se puede dividir en dos sectores: norte y sur, en los que se emplazan varias áreas: comercial, industrial, militar, turística y operativa. La zona norte, corresponde principalmente a la zona militar, jurisdicción de la Armada Argentina, donde se asienta la Base Naval, protegida por un rompeolas de 474 m de longitud que comienza en la Escollera Norte. Dicha zona, además, está integrada por un muelle de pasajeros, adyacente al tramo interior de la escollera, una dársena para submarinos y un fondeadero destinado a embarcaciones deportivas. El sector sur, es de carácter industrial, comercial, turístico y operativo; contiene tres dársenas: pescadores, cabotaje y ultramar, además de la posta de inflamables, El sector operativo está compuesto por las terminales N° 1, 2, 3, 4 y 5 [18 - 19].

En el sector industrial se encuentran fábricas de harina de pescado, talleres y carpinterías navales, astilleros, lavaderos de cajones, depósitos de enseres de pesca y cooperativas de pesca, procesadores de pescado y la planta de almacenamiento de combustibles. Existe una amplia cobertura para realizar reparaciones navales conjuntamente con instalaciones de varaderos y diques flotantes para la atención de embarcaciones pesqueras.

Del análisis de la Figura 2, se desprenden los puertos importantes de acuerdo al volumen desembarcado. Dichos puertos se detallan en la Tabla 1:

Tabla 1 Promedio de desembarques de pescado. Período 2010-2014.

Puerto	Desembarques 2010-2014
Mar del Plata	54,02%
Puerto Madryn	15,38%
Puerto Deseado	8,70%
Ushuaia	8,03%
Caleta Olivia/Paula	3,32%
Rawson	2,91%
Comodoro Rivadavia	2,19%
San Antonio Este	1,47%
General Lavalle	1,36%

### 3.1. Modelo Propuesto

A partir del análisis de las características y situación del puerto de Mar del Plata, se evalúa la competitividad de dicho puerto como terminal pesquera. Si bien, es una terminal multipropósito, la actividad pesquera constituye la labor más importante que desarrolla, puesto que, el 54% de los desembarques nacionales de pescado, se realizan en dicho puerto. Dentro de los procesos realizados en la terminal pesquera, se estudia el proceso de desembarque de pescado.

Se compara el puerto de Mar del Plata con otras terminales pesqueras del país. Para ello, se propone un modelo de Análisis de la Envolvente de Datos (DEA), orientado a la entrada, con variables no discrecionales.

Se selecciona un modelo orientado a la entrada, debido a que el objetivo es optimizar o controlar los insumos, para una salida determinada, en este caso se consideran las toneladas de pescado desembarcadas. Dado, la importancia que presenta la infraestructura en el funcionamiento de un puerto, ya que posee un papel significativo en el proceso productivo, se contempla su influencia en el grado de eficiencia de las unidades evaluadas. Para ello, se elige un modelo con variables no discrecionales o no controlables, a fin de incluir la/s entrada/s que describa/n la infraestructura afectada en el proceso de estudio [20].

Se estudia el modelo DEA-CCR con variables no discrecionales, aplicando las Ecuaciones 8 a 11, para obtener la eficiencia global (EG),  $\theta_{CCR}$ . A su vez, se utiliza el modelo DEA-BCC con variables no discrecionales, Ecuaciones 8 a 12 para adquirir la eficiencia técnica (ET),  $\theta_{BCC}$ .

A partir de las eficiencias  $\theta_{CCR}$  y  $\theta_{BCC}$ , se obtiene la eficiencia de escala (EE) a través de la Ecuación 13.

$$EE = \frac{\theta_{CCR}}{\theta_{BCC}} \quad (13)$$

#### 3.1.1 Selección de las Variables.

Se selecciona como variable de entrada no discrecional o no controlable, a los metros de lineales de muelle operativo o de atraque, correspondientes a la infraestructura utilizada.

Se define como variable de entrada a optimizar, al indicador operacional toneladas transferidas por hora hombre (tn/hh). En este caso, corresponden a toneladas desembarcadas. Cabe destacar, que debe hacerse una diferenciación en el proceso productivo de descarga, entre los buques fresqueros y los buques congeladores. Dentro de los buques fresqueros se encuentran los de rada ría, costeros y fresqueros, de dichas embarcaciones se descarga el pescado entero conservado en hielo. Mientras tanto, los buques congeladores incluyen a los buques de arrastre, palangreros, tangoneros, surimeros, poteros nacionales y trampas. De estas naves, se desembarca el pescado congelado, procesado dentro del propio buque. Los recursos utilizados (MO en este caso), varían en función del tipo de embarcación y del producto a descargar.

Se considera como variable de salida a las toneladas desembarcadas anuales. De igual manera, al tratamiento realizado para la variable de entrada, se hace la diferenciación entre las toneladas descargadas por buques fresqueros y toneladas desembarcadas por buques congeladores.

En consecuencia, las variables, que intervienen en el modelo son:

Variable de entrada no discrecional:

- metros lineales de muelle operativo ( $E_1$ )

Variables de entrada a controlar

- toneladas de pescado descargadas por hora hombre, en buques fresqueros ( $E_2$ );
- toneladas de pescado descargadas por hora hombre, en buques congeladores ( $E_3$ ).



VARIABLES DE SALIDA:

- toneladas de pescado desembarcadas por buques fresqueros anuales ( $S_1$ );
- toneladas desembarcadas por buques congeladores anuales ( $S_2$ ).

Las DMUs, que intervienen en el modelo son los puertos pesqueros nacionales más importantes, presentados en Tabla 2. Ellos son 9 en total y en orden de mayor a menor importancia, los puertos de: Mar del Plata ( $\lambda_1$ ); Puerto Madryn ( $\lambda_2$ ); Puerto Deseado ( $\lambda_3$ ); Ushuaia ( $\lambda_4$ ); Caleta Olivia/Paula ( $\lambda_5$ ); Rawson ( $\lambda_6$ ); Comodoro Rivadavia ( $\lambda_7$ ), San Antonio Este ( $\lambda_8$ ) y General Lavalle ( $\lambda_9$ ).

### 3.9.2 Análisis de los Modelos.

El modelo CCR se debe correr para cada DMU ( $N$ ),  $\lambda_1, \dots, \lambda_9$ , esto significa que se ejecuta 9 veces. Cada corrida corresponde a la minimización de un DMU. El modelo consta de tres restricciones de entrada ( $m$ ),  $E_1$ ;  $E_2$  y  $E_3$ , más dos de salida ( $n$ ),  $S_1$  y  $S_2$ , esto da un total de  $m+n$ , 5 restricciones. A través del mismo, se obtienen las eficiencias a rendimientos de escala constante ( $\theta_{CCR}$ ) o EG, para cada unidad de decisión estudiada.

El modelo BCC, como en el caso anterior, se debe plantear nueve veces. Pero a diferencia de la situación previa, se agrega la restricción de convexidad. De ahí que, se deben evaluar  $m+n+1$ , 6 restricciones. A partir del mismo, se obtienen las eficiencias a rendimientos a escala variables ( $\theta_{BCC}$ ) o ET para cada DMU, a través de ambas eficiencias se obtiene la EE.

## 3. CONCLUSIONES.

Los puertos constituyen puentes para el desarrollo económico regional, por lo tanto, resulta indispensable evaluar su competitividad a través de la medición de la productividad y eficiencia, dado que la productividad es uno de los principales indicadores de crecimiento y desarrollo de una región.

Los puertos, en general, poseen características multipropósito. Es por ello, que resulta necesario utilizar metodologías de tratamiento multidimensional para medir su competitividad.

La metodología de Análisis de Datos de la Envolvente (DEA) mide la eficiencia, a través de la construcción de una frontera de producción empírica. Además, permite utilizar múltiples entradas y salidas en la evaluación, de cada unidad a comparar o estudiar.

Se definen como unidades de decisión a estudiar (DMUs) a los puertos pesqueros más relevantes del país. Se utilizan las DMUs para hacer una comparación entre los distintos puertos nacionales, a fin de evaluar si se encuentran trabajando en la frontera o por debajo de la misma.

Se proponen los modelos DEA-CCR y DEA-BCC con variables no discrecionales, orientados a la entrada, para medir la eficiencia global, eficiencia técnica y eficiencia de escala, de las distintas DMUs. Se estudia el puerto de Mar del Plata, en particular, dado que es el principal puerto pesquero del país, registrando en los últimos cinco años el 54% del total de los desembarques a nivel nacional.

En este trabajo se puede comprobar la importancia de medir la productividad aplicando la metodología de Análisis de la Envolvente de Datos. Esta herramienta, permite evaluar minuciosamente el desempeño de cualquier actividad, para establecer posteriormente las estrategias necesarias que ratifiquen su rumbo en la dirección deseada.

Se plantea como desafío, ampliar la comparación con otros puertos de América y Europa, para hacer una simulación del modelo. Posteriormente, se deberá evaluar el mismo en forma cuantitativa, para identificar

las ineficiencias y áreas de mejora correspondientes.

## 4. REFERENCIAS.

- [1] Önsel, S.; Ülengin, F.; Ulusoy, G.; Aktaş, E.; Kabak, O.; Topcu, Y.I. (2008). "A new perspective on the competitiveness of nations". *Socio-Economic Planning Sciences*. Volume 42, Pages 221–246. Elsevier.
- [2] Oral, M.; Cinar, U; Chabchoub, H. (1999). "Linking industrial competitiveness and productivity at the firm level". *European Journal of Operational Research*. Volume 118(2), Pages 271–277. Elsevier.
- [3] Llorens, J. L.; Alburquerque, F.; Del Castillo, J. (2002). "Estudio de casos de desarrollo económico local en América Latina". *Banco Interamericano de Desarrollo*. Washington, D. C. Serie de Informes de Buenas Prácticas del Departamento de Desarrollo Sostenible. Washinton D.C, Estados Unidos.
- [4] Arieu, A. (2014). "Puertos y Competitividad Regional". Énfasis Logística. Extraído el 6 de octubre de 2014, de <http://www.logisticasud.enfasis.com/articulos/70713-puertos-y-competitividad-regional>.

- [5] Doerr, O. (2011). "Políticas Portuarias". *CEPAL División de Recursos Naturales e Infraestructura*. Santiago de Chile.
- [6] Chang Rojas, V. A.; Carbajal Navarro, M. A. (2011). "Medición de la productividad y Eficiencia de los Puertos Regionales del Perú: un Enfoque no Paramétrico". *Informe Final del proyecto Breve Cerrado de Investigación Universidad Nacional Mayor de San Marcos*. Consorcio de Investigación Económica y Social – CIES. Lima, Perú.
- [7] Estache, A.; Tovar de la Fé, B.; Trujillo, L. (2004) "Sources of efficiency gains in port reform: a DEA decomposition of a Malmquist TFP index for Mexico", *Utilities Policy*. Volume 12, 2004, Pages 221–230. Elsevier.
- [8] Carbone, D.; Viceconte, M.; Frutos, M. (2012). "Identificación de factores para la aplicación de la técnica DEA en la evaluación de la eficiencia portuaria". *V Congreso Argentino de Ingeniería Industrial V COINI 2012*. Universidad Nacional de Lomas de Zamora., Argentina.
- [9] Doerr, O.; Sánchez, R. (2006). "Indicadores de productividad para la industria portuaria. Aplicación en América Latina y el Caribe". *Serie Recursos Naturales e Infraestructura*. CEPAL ONU. Santiago de Chile.
- [10] Seijas Díaz, A. (2004). *Evaluación de la Eficiencia en Educación Secundaria* Primera Edición NETBIBLO S. L. Producción Editorial: GESBIBLO S. L. Impreso en España.
- [11] Charnes, A.; Cooper, W.; Rhodes, E. (1978). "Measuring the Efficiency Decision-Making Units". *European Journal of Operational Research*. Volume 2, Pages 91-107. North Holland.
- [12] Coelli, T. J.; Prasada Rao, D. S.; O'Donnell, C. J.; Battese G. E. (2005). *An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis*. 2da.Edición Springer.
- [13] Banker, R.D.; Charnes, A.; Cooper, W.W. (1984). "Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis." *Management Science* 30(9): 1078-1092. North Holland.
- [14] Gualdoni, P.; Errazti, E. (2006). "El Puerto de Mar del Plata". *FACES, año 12, N° 26 Facultad de Ciencias Económicas y Sociales*. Universidad Nacional de Mar del Plata.
- [15] Ministerio de Agricultura Ganadería y Pesca (2014). Desembarques. Extraído el 18 de diciembre de 2014, de [http://www.minagri.gob.ar/site/pesca/pesca\\_maritima/02-desembarques/index.php](http://www.minagri.gob.ar/site/pesca/pesca_maritima/02-desembarques/index.php).
- [16] Hobert, M. C.; Merino, A. M.; Ospital, C.; Saab, A. C. (2009). "Economía. Sector Pesquero un Recurso Económico no Convencional". *Observatorio de Políticas Públicas. Cuerpo de Administradores no Gubernamentales. Secretaría de Gabinete*. Buenos Aires.
- [17] Fundación NuestroMar (2007). Puerto de Mar del Plata. Extraído el 18 de diciembre 2014, de [http://www.nuestromar.org/servicios/puertos/puertos\\_maritimos/pto\\_mar\\_del\\_plata](http://www.nuestromar.org/servicios/puertos/puertos_maritimos/pto_mar_del_plata).
- [18] Sociedad Patrones Pescadores (2015). Descripción del puerto de Mar del Plata Extraído el 18 de diciembre de 2014, de [http://www.patronespescadores.com.ar/?page\\_id=441](http://www.patronespescadores.com.ar/?page_id=441).
- [19] Consorcio Portuario Regional Mar del Plata (2014). Puerto de Mar del Plata. Extraído el 15 de diciembre de 2014, de <http://www.puertomardelplata.net/index-1.html>.
- [20] Iñiguez, P.; Ferreyra, F.; Arburua, M.; Iñiguez, A.; Negro, F. J. (2103). "Evaluación Empírica de Diversas Propuestas Metodológicas en DEA con Inputs no Controlables. Una Aplicación en Salud". *XXVI ENDIO - XXIV EPIO*. Córdoba.