

# ANÁLISIS DEA DE LOS PROVEEDORES DE SERVICIOS DE NAVEGACIÓN AÉREA EN EL MARCO DE CIELO ÚNICO EUROPEO

R. Arnaldo<sup>a</sup>, V. Gómez<sup>a</sup> y L. Pérez<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Departamento de Infraestructura, Sistemas Aeroespaciales y Aeropuertos, Universidad Politécnica de Madrid, Plaza Cardenal Cisneros,3 EUITA, despacho 610, Madrid, 28040, España.

Email: rosamaria.arnaldo@upm.es

## RESUMEN

*Una de las últimas medidas acometidas dentro del marco del programa de Cielo Único Europeo ha sido el desarrollo de un sistema de evaluación de rendimiento (eficiencia) de los servicios de navegación aérea y de las funciones de red en cuatro ámbitos clave: la seguridad, el medio ambiente, la capacidad y la rentabilidad (cost - efficiency). El sistema de evaluación establece en cada ámbito "indicadores" y "objetivos obligatorios"; y para alcanzar estos objetivos los Estados europeos deben establecer "planes de rendimiento" y "sistemas de incentivos".*

*Este artículo realiza un análisis comparativo de la eficiencia y la productividad de los proveedores de servicios de navegación europeos, para determinar el posicionamiento inicial relativo de cada uno de ellos en términos de eficiencia, su potencial para alcanzar unos objetivos de rendimiento específicos, y como de cerca o lejos se encuentra cada organización respecto del nivel óptimo de eficiencia determinado por el más eficiente de sus semejantes.*

*El trabajo utiliza el análisis de envoltente de datos o DEA, una técnica de programación matemática no paramétrica, basada en la obtención de una frontera de eficiencia a partir de un conjunto de observaciones sin necesidad de conocer ninguna forma de relación funcional entre inputs y outputs.*

*One of the last measures undertaken within the framework of the Single European Sky program has been the development of a performance evaluation framework (efficiency) of Air Navigation Services and network functions in four key areas: safety, environment, capacity and cost-efficiency. The evaluation framework establish "indicators" and "binding targets" and to achieve these objectives the European states must define "performance plans" and "incentive systems".*

*This article makes a comparative analysis of the efficiency and productivity of the Air Navigation Service Providers in Europe, to determine the initial position on each of them in terms of efficiency, the potential for achieving specific performance targets, and how near or far is each organization from the optimal level of efficiency determined by the most efficient among their peers.*

*The study uses data envelopment analysis or DEA, a nonparametric mathematical programming technique, based on obtaining an efficient frontier from a set of observations without knowing any form of functional relationship between inputs and outputs.*

**Palabras clave:** DEA, SES, Navegación Aérea, eficiencia.

## INTRODUCCIÓN

Uno de los objetivos de la Unión Europea es contribuir al desarrollo sostenible del sistema de transporte europeo y mejorar la eficacia global de los servicios de navegación aérea. Con este fin una de las últimas medidas acometidas dentro del marco del programa de **Cielo Único Europeo** ha sido el desarrollo de un **sistema de evaluación de rendimiento** (*eficiencia*) de los servicios de navegación aérea y de las funciones de red en cuatro ámbitos clave: la seguridad, el medio ambiente, la capacidad y la rentabilidad (cost - efficiency). [1]

El sistema de evaluación establece en cada ámbito "indicadores" y "objetivos obligatorios", y para alcanzar estos objetivos los estados europeos deben establecer "planes de rendimiento" y "sistemas

Arnaldo, Gómez y Sanz - Análisis DEA de los proveedores de Servicios de Navegación Aérea en el marco del Cielo Único Europeo.

**de incentivos**". Para que el sistema de evaluación de rendimientos sea un éxito y permita alcanzar los objetivos deseados es necesario que indicadores y objetivos cumplan dos premisas:

- Es preciso seleccionar indicadores de rendimiento clave que sean específicos y medibles y que permitan atribuir responsabilidades para la consecución de los objetivos de rendimiento.
- Los objetivos asociados han de ser alcanzables, realistas y adecuados y deben orientarse a favorecer efectivamente el rendimiento sostenible de los servicios de navegación aérea.

En el primer periodo de referencia para la aplicación del sistema de evaluación de rendimientos se han fijado unos objetivos idénticos para todos los proveedores de servicios de navegación aérea en las fases de ruta y aproximación, sin tener en cuenta el punto de partida de cada proveedor ni sus mayores o menores ineficacias relativas.

De esta forma pudiera suceder que el esfuerzo exigido a un proveedor, y por ende a un estado, fuera minúsculo en proporción a su capacidad; mientras que el exigido a otro fuera virtualmente inalcanzable con las restricciones de tiempo y condiciones económicas, teniendo en cuenta sus ineficacias relativas respecto al resto de los proveedores de servicios de navegación aérea europeos. Por otro lado los objetivos en términos de seguridad, capacidad y medio ambiente bien pudieran entrar en contradicción con los objetivos en términos de rentabilidad o eficiencia.

Adicionalmente muchos análisis de eficiencia en transporte se han basado en el cálculo de ratios del tipo de "producto por trabajador". Este es el caso del marco propuesto por Eurocontrol y la Unión Europea en el ámbito de la rentabilidad donde se evalúa la eficiencia en el coste ó "cost-efficiency " como el ratio entre los costes asociados a la provisión del servicio y el número de unidades de servicio (equivalente a número de vuelos ) atendidos. Sin embargo, este tipo de análisis no es del todo apropiado para evaluar el rendimiento de una empresa de navegación aérea porque mide la salida únicamente en términos unidades de producción, y no permite tener en cuenta de forma integrada otras características que se exigen al producto de los proveedores de servicios de navegación aérea como son la capacidad, las demoras, la seguridad y el impacto en el medio ambiente.

## METODOLOGÍA

El análisis está basado en el empleo un método no paramétrico de medida de eficiencia, el análisis de envolvente de datos o DEA. El análisis envolvente de datos (DEA) es una técnica de programación matemática no paramétrica, que se utiliza para la medición de la eficiencia. Está basada en la obtención de una frontera de eficiencia a partir de un conjunto de observaciones sin necesidad de conocer ninguna forma de relación funcional entre inputs y outputs, es decir sin que sea necesario determinar o estimar ninguna función de producción. Este método fue desarrollado por Charnes, Cooper y Rhodes en 1978 [2]; y se emplea para estimar los niveles de eficiencia de unidades organizativas en multiplex campos; habiéndose aplicado con éxito en el análisis de eficiencia de aeropuertos y compañías aéreas.

La eficiencia relativa de las diferentes unidades consiste en el cálculo comparativo de los siguientes cocientes que miden la relación input-output:

$$\text{Eficiencia de la unidad } j - \acute{e}\text{stima} = \frac{\text{Suma ponderada de outputs de la unidad } j - \acute{e}\text{stima}}{\text{Suma ponderada de inputs de la unidad } j - \acute{e}\text{stima}}$$

O lo que es lo mismo:

Arnaldo, Gómez y Sanz - Análisis DEA de los proveedores de Servicios de Navegación Aérea en el marco del Cielo Único Europeo.

$$E_j = \frac{U_1 Y_{1j} + U_2 Y_{2j} + \dots + U_i Y_{ij} + \dots + U_m Y_{mj}}{V_1 X_{1j} + V_2 X_{2j} + \dots + V_i X_{ij} + \dots + V_n X_{nj}}$$

Donde:

- $E_j$  es la eficiencia relativa de la unidad organizativa j-ésima.
- $U_i$  es el peso asociado al output genérico i-ésimo.
- $V_i$  es el peso asociado al input genérico i-ésimo.
- $Y_{ij}$  es la cantidad de output genérico i-ésimo en la unidad organizativa j-ésima.
- $X_{ij}$  es la cantidad de input genérico i-ésimo en la unidad organizativa j-ésima.

De cara al proceso de evaluación, se considera que una unidad productiva es eficiente y, por tanto, que pertenece a la frontera de producción, cuando produce más de algún output sin generar menos del resto y sin consumir más inputs, o bien, cuando utilizando menos de algún input, y no más del resto, genere los mismos productos [3,4,5].

La eficiencia de la unidad j-ésima se obtendrá maximizando el cociente que mide la eficiencia de dicha unidad, estando sujeto el proceso de optimización a que la eficiencia de todas las unidades organizativas, incluyendo la propia unidad j-ésima, sea menor o igual que la unidad. En términos analíticos, se formula un modelo de programación matemática, cuyas variables representan los pesos más favorables para la unidad organizativa j-ésima .

$$\text{Max } E_j = \frac{\sum_{i=1}^m U_i Y_{ij}}{\sum_{i=1}^n V_i X_{ij}} \text{ con } \frac{\sum_{i=1}^m U_i Y_{ij}}{\sum_{i=1}^n V_i X_{ij}} \leq 1, \forall j; U_i, V_i \geq 0$$

La solución del modelo proporciona la cuantificación de la eficiencia relativa de la unidad organizativa j-ésima con respecto al resto de unidades, así como los mejores valores de los pesos que han permitido alcanzar dicha eficiencia. Así por ejemplo, si en el óptimo  $E_j = 1$ , entonces podemos decir que la correspondiente unidad j-ésima es eficiente en términos relativos con respecto a las otras k-1 unidades. Por el contrario si  $E_j < 1$  ello significa que aun habiendo elegido la unidad j-ésima sus pesos más favorables, existen unidades organizativas en la muestra analizada que combinan sus inputs en outputs de una manera más eficiente. Adicionalmente la solución del problema nos indica cómo debe mejorar la unidad ineficiente para posicionarse en la frontera de la eficiencia.

Como vemos, la base del método radica en comparar cada unidad no eficiente con aquella que lo sea, siendo necesario para poder hacer la comparación que ambas utilicen una técnica de producción similar; es decir, que utilicen inputs similares para producir outputs parecidos. La unidad eficiente que sirve de base para la comparación no tiene porque corresponder a una unidad real, sino que puede corresponder a una combinación lineal de otras existentes. Primero se construye la frontera de producción empírica y después se evalúa la eficiencia de cada unidad observada (en este caso cada proveedor de servicios de Navegación Aérea) que no pertenezca a la frontera de eficiencia. Así, además de no ser un método paramétrico (por no presuponer la existencia de una función que relacione inputs con outputs) tampoco es estadístico puesto que no asume que la eficiencia no captada siga algún tipo de distribución probabilística .

## DATOS UTILIZADOS PARA EL ANALISIS

Desde hace varios años, la Unidad de Evaluación de Prestaciones de EUROCONTROL (PRU ó Performance Review Unit) ha participado activamente en la evaluación de la eficiencia de los proveedores de Servicios de Navegación Aérea (ANSP) en Europa. [6]

Arnaldo, Gómez y Sanz - Análisis DEA de los proveedores de Servicios de Navegación Aérea en el marco del Cielo Único Europeo.

Los datos utilizados en el análisis se han elaborado a partir de información proporcionada por 35 ANSP del entorno europeo en sus declaraciones anuales obligatorias a la Unidad de Evaluación de Prestaciones de EUROCONTROL (PRU ó Performance Review Unit). La **Tabla 1** resume los datos más relevantes utilizados en este análisis. La muestra utilizada contiene datos anuales para 35 ANSP europeos de 2001 a 2011 e incluye información sobre costes, entradas, salidas, la variabilidad del tráfico y sus características de complejidad. Una descripción detallada tanto de los datos, incluyendo todas las comprobaciones y validaciones, se pueden encontrar en los informes de evaluación comparativa ACE de EUROCONTROL [7].

Los ANSP en la muestra varían sustancialmente en función del tamaño del espacio aéreo controlado, el volumen y características del tráfico atendido y su estructura de gobernanza. A pesar de esta heterogeneidad, los rendimientos anuales registran suficiente información, sobre una base comparable en términos generales, para permitir un análisis comparativo justo y sólido de la efectividad de los ANSP.

**Tabla 1. Datos de los Proveedores de Servicios de Navegación Aérea utilizados en el estudio.**

<b>Entradas o insumos</b>	<b>Costes</b>	Costes de los servicios de Meteorología Pagos a autoridades nacionales Costes de EUROCONTROL IVA Costes de delegación de servicios
	<b>Costes de la provisión de servicios ATM/CNS</b>	Costes de personal Costes directos de operación Eventos excepcionales Depreciación Costes del capital
	<b>Personal</b>	Número total de empleados Controladores operativos (ATCOs in OPS) Horas de controlador (ATCOs' hours on duty) Costes de los Controladores operativos
<b>Producción o salidas</b>	<b>Datos de operación</b>	Horas de vuelo controladas por: ACC, ATCOs in OPS, ATCOs' hours on duty Numero de sectores Número de horas/sector
	<b>Producción en ruta</b>	Número total de vuelos IFR controlados por el ANSP Total de horas de vuelo controladas por el ANSP ATCOs in OPS: en ACCs, en (APPs+TWRs)
	<b>Ingresos</b>	Ingresos de tasas Otros ingresos

Los coeficientes de correlación entre los distintos indicadores, mostrados en la **Tabla 2**, se han utilizado para identificar las variables que serán tomadas como entradas y salidas del modelo DEA, cuidando de no incluir variables que reflejen un mismo efecto.



Arnaldo, Gómez y Sanz - Análisis DEA de los proveedores de Servicios de Navegación Aérea en el marco del Cielo Único Europeo.

Tabla 3. Muestra de datos correspondiente a 2011

Proveedor	Demoras ATFM en ruta (miles de minutos)	Demoras ATFM en Apto. (miles de minutos)	Demoras totales(miles minutos)	Coste de la demora ATFM (miles de €)	Variabilidad en período de tres meses	Variabilidad mensual/mesmedio	Variabilidad semana pico /semana media	Densidad ajustada	Interacciones verticales	Interacciones horizontales	Interacciones de velocidad	Indicador de complejidad estructural	Indice de complejidad agregada	Costes de la provisión ATM/CNS	Costes meteorológicos	Pagos a autoridades nacionales	Pagos a otros estados	Costes de Euro control	Pagos por delegación de servicios ANS	IIVA	Costes totales	Costes de personal	Costes de personal no operativo	Costes de depreciación	Costes de capital	ATCOs in OPS	Personal tecnico	Personal total	ATCOs in OPS (ACC)	ACC ATCO-hours on duty	APPs+TWRs ATCOs in OPS	APPs+TWRs ATCO-hours on duty	Costes de empleo ATCOs in OPS (€'000)	Tamaño del espacio aéreo controlado	Numero de ACCs	Numero de APP	Numero de TWR	Numero de AFIS	Vuelos IFR controlados por ANSP	Km IFR controlados por ANSP	Horas de vuelo controladas por ANSP	Movimientos IFR en aeródromo por ANSP	Horas de vuelo compuestas
Aena	2771	873	3644	302452	1.17	1.20	1.21	7.03	0,17	0,39	0,13	0,69	4,85	900904	39263	8495	15222	54979	0	0	1018862	569996	140066	121608	61302	1898	553	4047	1056	1362779	842	393697	2190000	5	18	36	0	1774607	959818500	1388029	1854896	1879866	
ANS CR	4	18	22	1826	1.18	1.21	1.22	8.30	0,17	0,52	0,19	0,88	7,30	121913	2872	367	0	5760	0	0	130911	72509	194160	21218	9047	194	118	892	91	138993	158558	27205	71100	5	4	4	0	1774607	169405718	232525	165232	276337	
ARMATS	0	0	0	1.06	1.10	1.17	1.50	0,07	0,38	0,17	0,62	0,93	7181	0	0	0	237	0	0	0	7418	3915	1543	683	1039	70	170	458	23	33120	47	70500	1300	29800	1	2	2	2	57173	11176459	14668	20641	20141
Austro Control	166	233	399	33117	1.20	1.21	1.21	8.10	0,19	0,51	0,20	0,90	7,29	180377	19717	462	0	9704	0	0	210260	133791	23021	20541	3024	275	107	907	116	167968	159	240567	63727	80400	1	6	6	0	910560	195824268	287738	365725	384712
Avinor	34	190	224	18592	1.04	1.11	1.12	2.08	0,31	0,48	0,27	1,06	2,20	193101	3015	432	0	6470	0	0	203018	135713	41586	10548	5254	392	212	1008	144	237112	248	402590	7419983	720000	3	17	28	565333	330489	654572	504053		
Belgcontrol	23	104	127	10541	1.09	1.13	1.14	8.04	0,41	0,55	0,42	1,38	11,10	150453	11392	2133	0	11576	36920	0	212474	112820	14016	18010	4853	221	186	895	83	111695	138	140580	39903	39500	1	4	5	0	572095	56399688	114337	380572	215248
BULATSA	32	0	32	2656	1.39	1.42	1.45	7.01	0,05	0,29	0,06	0,40	2,80	74713	7000	782	0	4150	0	222	86867	48095	8276	10347	7995	215	405	1184	102	130356	113	146448	14237	146000	1	3	5	0	539295	142344581	181981	83307	204071
Croatia Control	257	2	259	21497	1.37	1.43	1.45	7.14	0,05	0,48	0,08	0,61	4,36	77243	4574	0	0	0	0	0	81817	49071	14616	9254	4302	232	108	749	92	124936	140	200900	27039	158000	1	7	10	0	497247	149214890	194935	8307	216617
DCAC Cyprus	454	2	456	37848	1.18	1.21	1.29	4.38	0,14	0,37	0,12	0,63	2,76	36813	4462	8299	0	2328	0	0	51902	15820	12639	5566	2788	83	2	197	55	140580	28	63392	11157	174000	1	2	2	0	281403	102226339	130396	63560	147250
DFS	2447	1732	4179	346857	1.10	1.13	1.14	10.45	0,28	0,55	0,26	1,09	11,39	978330	0	568	0	0	0	0	978898	645129	130444	91435	72090	1664	949	5530	1293	1433391	371	467924	292708	388000	4	0	16	0	2844889	905419485	1412603	2059372	1958658
DHMI	184	543	727	60341	1.23	1.24	1.27	6.13	0,14	0,35	0,11	0,60	3,68	324188	21539	2427	0	15523	0	0	363677	146367	97767	38871	41183	911	1354	5227	439	685718	472	736320	60403	982000	2	29	37	0	1003692	682415111	903599	907286	1144171
DSNA	1282	633	1915	158945	1.15	1.18	1.19	9.64	0,15	0,41	0,14	0,70	6,75	1155285	87642	8974	0	74642	46587	47615	1420745	781113	228591	113096	32484	2738	1335	7938	1412	1842635	1326	1727923	330259	1010000	5	12	81	0	2869230	1523985165	2145379	1892868	2647284
EANS	4	0	4	332	1.12	1.14	1.16	3.74	0,15	0,3	0,21	0,66	2,47	12590	197	0	0	0	0	0	12787	6554	2397	2145	1494	56	26	151	26	43680	30	50400	3565	77102	1	2	2	0	176651	45283885	61672	38499	71880
ENAV+ITAF	21	153	174	14442	1.22	1.25	1.28	5.35	0,28	0,57	0,19	1,04	5,56	683994	47627	0	0	44827	0	0	776448	340630	181277	125587	34254	1412	125	2968	893	1190036	519	726965	203575	734000	4	23	12	11	1594589	748366728	1074307	1162015	1382423
Finavia	126	48	174	14442	1.05	1.09	1.15	2.05	0,28	0,34	0,37	0,99	2,03	62351	5018	1343	0	3211	361	0	72284	38640	14897	6450	2364	195	70	425	55	79420	140	212240	20532	415000	1	7	15	6	257591	73387517	124093	275765	197214
HCAA	1935	582	2517	208911	1.42	1.51	1.54	4.19	0,11	0,38	0,09	0,58	2,43	159218	8872	2706	0	11025	0	0	181821	117936	28952	8105	4225	480	470	1786	215	316050	265	389550	55688	538000	1	16	18	15	655638	357947224	480362	169431	525288
HungaroControl	0	0	0	0	1.29	1.33	1.34	7.16	0,07	0,45	0,13	0,65	4,65	95853	1793	1793	0	4140	0	0	104517	54634	24226	12216	2872	175	130	732	91	141414	84	129948	29658	93000	1	1	1	2	616579	146902938	193968	110168	223180
IAA	1	3	4	332	1.11	1.15	1.21	4.12	0,07	0,22	0,11	0,40	1,65	121805	2006	2006	2555	6967	0	0	141020	67255	22399	22333	9818	212	37	498	146	228344	66	104214	31508	457000	2	2	3	0	527026	203919783	261641	207586	316684
LFV	80	31	111	9213	1.05	1.12	1.14	3.23	0,23	0,48	0,24	0,95	3,07	20730	7425	602	0	0	0	0	215956	138723	44276	21929	3002	521	89	1088	229	380140	292	467784	92969	626000	2	26	35	2	709463	285870497	430699	536236	572885
LGS	0	0	0	0	1.15	1.17	1.18	3.21	0,09	0,46	0,16	0,71	2,28	23076	1585	1874	1036	1036	0	0	27571	11144	3715	4750	1786	79	102	349	51	73644	28	45472	3591	95600	1	2	2	0	233276	52718286	72249	71583	91230
LPS	0	0	0	0	1.30	1.36	1.38	6.47	0,12	0,47	0,16	0,75	4,85	51191	1719	1035	0	2767	0	0	56712	28978	12608	6750	2855	97	117	474	52	71004	45	70867	10426	48700	1	2	5	0	381213	64652490	84316	33565	93216
LVNL	65	400	465	38595	1.09	1.10	1.10	10.2	0,2	0,41	0,35	0,96	9,79	167328	9182	1400	0	14507	23300	-6767	208950	121161	29476	11184	5507	189	118	891	65	103194	124	197656	41023	52300	1	3	4	0	527333	69948840	155347	485525	284087
MATS	0	0	0	0	1.10	1.11	1.46	1.55	0,08	0,37	0,17	0,62	0,96	15130	0	0	0	934	0	0	16064	58395	565	1496	746	48	43	143	27	49626	21	33726	2559	231000	1	2	1	1	81382	374222229	52190	33445	61058
M-NAV	0	0	0	0	1.55	1.63	1.69	4.95	0,09	0,41	0,05	0,55	2,72	10454	751	148	0	503	0	0	11856	6812	1359	1892	391	70	46	274	41	60024	29	42456	2905	24800	1	2	2	1	124467	15635458	19951	11507	23002
MoldATSA	0	0	0	0	1.25	1.28	1.34	1.89	0,04	0,41	0,2	0,65	1,23	7433	1046	235	0	350	0	0	9064	3378	1314	979	1762	58	67	309	35	52255	23	34477	1051	33700	1	1	4	3	60415	11869916	15803	14838	19737
MUAC	63	n/app1	63	5229	1.10	1.11	1.13	9.92	0,26	0,53	0,17	0,96	9,52	129060	0	0	0	0	0	9	129069	104791	12572	10490	1207	240	130	652	240	289297	289297	289297	45429	260000	1	0	0	0	1607817	462334175	564053	n/app	564053
NATA Albania	96	0	96	7968	1.37	1.45	1.46	6.03	0,05	0,35	0,04	0,44	2,65	19812	434	522	0	776	0	0	21544	6083	7292	3642	2796	52	82	297	31	4922													

Arnaldo, Gómez y Sanz - Análisis DEA de los proveedores de Servicios de Navegación Aérea en el marco del Cielo Único Europeo.

Se discuten a continuación aspectos específicos de los datos: las entradas o insumos, las salidas o producción, el tamaño de la red y las características del tráfico.

## ENTRADAS O INSUMOS

Las principales variables de entrada del modelo están relacionadas con los costes y el personal.

La **Tabla 3** muestra los datos detallados de los costes del servicio CNS/ATM para cada proveedor en 2011. En ella puede observarse que los gastos de personal son la mayor proporción del total de los costes ATM / CNS. Los costes directos de operación son el segundo mayor contribuyente al coste total. La depreciación y el coste de capital son los componentes más pequeños, en promedio, a pesar de que representan una mayor proporción de los costes de algunos ANSP individuales.

También puede observarse que cinco proveedores (DSNA, DFS, Aena, ENAV and NATS) soportan el 56% de los costes totales de la provisión del servicio CNS/ATM a nivel europeo mientras que su cuota de tráfico es del 52%. Este resultado contrasta con la expectativa de rendimientos crecientes a escala (el rendimiento de los ANSP más grandes podría beneficiarse de su mayor tamaño). En el marco del régimen de recuperación total de costes que se aplica a la mayoría de los ANSP hay pocos incentivos para aprovechar al máximo los efectos de escala, de ahí la dificultad para observarlos. Los ANSP más grandes tienden a desarrollar sistemas automáticos a medida, que pueden ser más costosos que una solución comercial (COTS).

Otras variables importantes a considerar son las que tienen que ver con la productividad, en particular **la productividad por hora de controlador (ATCO-hour-productivity)** definida como el número de horas de vuelo por cada hora de trabajo de controlador. Este indicador está influenciado por la productividad del sector (que refleja si el número de sectores es óptimo para el volumen y el patrón de tráfico), la dotación de personal por sector, y la productividad por controlador ATCO (que refleja, por ejemplo, la eficiencia y flexibilidad de los turnos de controladores). Puede decirse que la productividad ATCO-hora es la eficiencia con la que un ANSP despliega y hace uso de su plantilla de ATCOs. En 2011, el sistema Pan-Europeo en su conjunto manejó 0,80 horas de vuelo compuestas por cada hora de ATCO.

Relevantes serán también los **costes de empleo ATCO** que reflejan el resultado de las negociaciones sobre los salarios y las prácticas de trabajo, bajo el control de la gestión; así como las condiciones locales económicas que están fuera del control de la gestión. Los costes laborales unitarios medios de ATCOs en el sistema paneuropeo fueron de 101 € por hora ATCO, si bien hay una amplia gama de costes laborales para la hora ATCO entre los diferentes ANSP. Igualmente importantes serán los **costes de apoyo** y en particular la relación del total de costes ATM / CNS frente a los costes de empleo de ATCOs. Los costes de apoyo se pueden dividir en cuatro componentes que proporcionan una mayor comprensión de su naturaleza:

- Los costes de empleo para personal controlador fuera de la operación (non ATCO in OPS); tiene en cuenta controladores de tránsito aéreo en otras tareas como formación, apoyo técnico y trabajos de gestión y administrativos (supone un 46,4% de los gastos de apoyo);
- Los costes de operación no relacionados con el personal comprenden principalmente los gastos de energía, las comunicaciones, los servicios contratados, alquileres, seguros e impuestos (25,7% de los gastos de apoyo);
- Costes excepcionales (1,1% de los gastos de apoyo), y,
- Los costes relacionados con el capital, que incluye los costes financieros y depreciación del capital empleado (26,8% de los gastos de apoyo).

Arnaldo, Gómez y Sanz - Análisis DEA de los proveedores de Servicios de Navegación Aérea en el marco del Cielo Único Europeo.

Los **costes laborales de ATCO por hora de vuelo compuesta** son el resultado de la combinación de los dos componentes anteriores: productividad hora-ATCO y los costes laborales por hora-ATCO. A igualdad del resto de los factores, menores costes laborales de ATCO por unidad de producción contribuirán a una mayor rentabilidad financiera. Un ANSP puede tener altos costes laborales por hora ATCO pero si sus controladores son altamente productivos, tendrá menores costes laborales por hora de vuelo compuesta. Este es el caso de los ANSP como MUAC, que muestra costes laborales por ATCO-hora por encima de la media europea, pero los costes laborales ATCO por hora vuelo compuesta por debajo de la media europea. Algunos ANSP como Belgocontrol combinan mayores costes laborales ATCO con menor productividad ATCO, resultando en altos costes laborales ATCO por unidad de producción. Otros ANSP como Naviair tienen tanto una mayor productividad ATCO horas y como menores costes laborales por hora ATCO .

## SALIDAS O PRODUCCION

Las salidas generadas por los Proveedores de Servicios de Navegación Aérea pueden medirse en diversas unidades como horas de vuelo y distancia recorrida para las operaciones de ruta, o como número de movimiento IFR y VFR para las operaciones en los aeropuertos. Por ejemplo, en 2011, las unidades operacionales controladas por los servicios ATC europeos fueron de 14.5 millones horas de vuelo sobre una distancia total de 10.092 millones de kilómetros. Las unidades operativas de TWR manejaron 15.4 millones de operaciones IFR y 3.3 millones movimientos VFR.

Se ha propuesto también una medida combinada de productividad definida como el **número compuesto de horas de vuelo controladas**. Este indicador es una media ponderada de horas de vuelo controladas en ruta y el número de movimientos IFR controlados en aeropuerto. La ponderación utilizada en el cálculo refleja la importancia relativa (en términos monetarios) de los costes de ruta y área terminal en la base de costes total, como promedio para todos los ANSP europeos. De acuerdo con esta definición, el número total de horas de vuelo compuestas para el sistema pan-europeo en 2011 fue 18.5 millones.

Cabe señalar que la producción, tal como se considera en este estudio, es una medida de la demanda satisfecha en lugar de la capacidad proporcionada. En los casos en que la demanda es mucho menor de lo esperado, los valores de producción pueden ser muy diferentes. Se podría argumentar que la capacidad prevista puede ser una mejor y más directa medida de lo producen realmente los ANSP. Sin embargo, si un ANSP proporcionase sistemáticamente un exceso de capacidad debería ser etiquetado con razón como ineficiente. El uso de una medida de la demanda satisfecha como la medida de producción captura esta fuente de ineficiencia, mientras que una medida de la capacidad proporcionada, incluso si fuera fácilmente disponible, no permitiría capturar ese matiz.

Otras características de tráfico claves para la eficiencia de los ANSP son la **variabilidad** y la **complejidad** del tráfico. La medida de la **variabilidad temporal** del tráfico aéreo controlado es la relación entre el pico de tráfico y la media de tráfico en una semana. Si el tráfico tiene una variabilidad muy alta los recursos pueden estar infrutilizados (ineficiencia en la asignación). La variabilidad de la demanda de tráfico tiene por lo tanto un impacto en la productividad, coste-efectividad, calidad del servicio y la previsibilidad de las operaciones.

Por otra parte la **complejidad** del tráfico es un término ampliamente utilizado en relación con la gestión del tráfico aéreo aunque no existe una medida única que la capture perfectamente. Esta puede caracterizarse a partir de dos indicadores:



Arnaldo, Gómez y Sanz - Análisis DEA de los proveedores de Servicios de Navegación Aérea en el marco del Cielo Único Europeo.

- **"Densidad ajustada"**: es una medida de la concentración de tráfico en un volumen de espacio aéreo dado (al nivel de ANSP o ACC) y se define en términos de minutos de interacción<sup>1</sup> entre aeronaves por hora de vuelo
- **"Complejidad estructural"**: es un indicador que tiene en cuenta que el tráfico puede ser estructuralmente más complejo en unas zonas que en otras. Está compuesto por la suma de tres métricas: rutas en ascenso y descenso, cruces de rutas y diferencias en las velocidades (tráficos con diferentes velocidades) .

Una ventaja clave de estos dos indicadores es que son independientes. El tráfico en un área puede ser denso, pero estructuralmente simple. Igualmente, el tráfico puede ser estructuralmente complejo pero escaso. Por otra parte, los dos impactos son multiplicativos, la puntuación global de la complejidad del tráfico se calcula como el producto de la complejidad estructural y la densidad ajustada. La complejidad puede tener un efecto positivo sobre las prestaciones de los ANSP, ya que una mayor densidad puede contribuir a una mejor utilización de los recursos y a una explotación más efectiva de las economías de escala. Pero también puede tener un efecto negativo ya que una mayor complejidad estructural implicará una mayor carga de trabajo ATC y por lo tanto un sistema ATM más complejo para el mismo volumen de tráfico.

Un número de factores que afectan a las operaciones de aeronaves y contribuyen a la calidad del servicio que se proporciona a los usuarios del espacio aéreo por un ANSP. Estos aspectos deben considerarse como salidas del proveedor de servicios. Estos incluyen las demoras ATFM en tierra, tanto en ruta y aeropuerto; las esperas en el aire (aunque estos son en su mayoría consecuencia de las restricciones aeroportuarias); la eficiencia horizontal de vuelo; la extensión de la longitud del vuelo; la eficiencia vertical de vuelo y la desviación resultante de óptimo perfil de vuelo vertical. No obstante por falta de datos únicamente el primero de estos factores ha podido ser considerado en el estudio.

Otro factor a considerar es el tamaño de la red, el cual puede cuantificarse en base a los siguientes indicadores: el promedio de tiempo de tránsito de vuelo, que se obtiene dividiendo el número de horas de vuelo por el número de vuelos dentro de un espacio aéreo determinado; el tamaño del espacio aéreo controlado (en km) en el que los ANSP son responsables de la prestación de servicios ATC, y el volumen del espacio aéreo en el que los ANSP son responsables de proporcionar los servicios de ATC

## RESULTADOS Y DISCUSION

El DEA es una herramienta que permite comparar eficiencias entre entidades productoras con características similares, determinar aquellas que son más eficientes frente al desempeño del grupo y calcular los niveles que deben alcanzar las ineficientes para volverse eficientes. El análisis se realiza teniendo en cuenta como medida de eficiencia la relación entre los resultados obtenidos y los recursos utilizados para generarlos.

En este estudio se ha realizado una aproximación inicial a la eficiencia de los ANSP considerando 4 posibles modelos.

- Modelo 1 Retornos Variables a Escala Orientado a la salida.
- Modelo 2 Retornos Constantes a Escala Orientado a la salida.
- Modelo 3 Retornos Variables a Escala Base (aditivo).
- Modelo 4 Retornos Constantes a Escala Base (aditivo).

<sup>1</sup> Las interacciones entre tráfico se definen como el periodo en el que dos aeronaves se encuentran simultáneamente en un volumen cuadrícula 20x20 Nillas Náuticas y 3000 pies de altitud.

Arnaldo, Gómez y Sanz - Análisis DEA de los proveedores de Servicios de Navegación Aérea en el marco del Cielo Único Europeo.

En los modelos orientados a la salida el punto proyectado al que podrían llegar las unidades evaluadas como ineficientes se calcula de manera que el aumento proporcional de las salidas sea el máximo posible sin aumentar el nivel de las entradas. En los modelos a escala base se intenta minimizar el consumo de entradas para conseguir un nivel de producción dado.

La consideración de retornos variables o constantes con la escala se introduce en el estudio porque a priori no existe evidencia para afirmar que existan retornos variables, o constantes a escala.

A continuación se analizan de manera general los resultados obtenidos, si bien cabe resaltar que este es únicamente un estudio preliminar. En la **Tabla 4** se presentan el cuadro de valores observados para todos los ANPS y la distancias a la envolvente para entidades clasificadas como ineficientes, que corresponde a la ineficiencia en cada variable, para cada modelo. Con base en esto se puede inferir en cuales variables se encuentran las debilidades de cada entidad y cuál es su potencial de mejora.

**Tabla 4. Resultados de los modelos DEA**

Proveedor	Puntuación de eficiencia			
	Orientado a salida		Orientado a entrada	
	Retornos variables a escala	Retornos constantes a escala	Retornos variables a escala	Retornos constantes a escala
	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4
Aena	100	42,99	100	42,99
ANS CR	56,82	55,72	60,94	55,72
ARMATS	100	76,29	100	76,29
Austro Control	66,4	60,24	61,05	60,24
Avinor	58,5	57,28	59,79	57,28
Belgocontrol	30,04	38,64	47,43	38,64
BULATSA	68,21	62,98	65,04	62,98
Croatia Control	66,3	58,26	63,23	58,26
DCAC Cyprus	100	100	100	100
DFS	100	38,67	100	38,67
DHMÍ	100	76,54	100	76,54
DSNA	100	46,22	100	46,22
EANS	100	100	100	100
ENAV+ITAF	100	53,8	100	53,8
Finavia	52,02	50,95	56,71	50,95
HCAA	100	100	100	100
HungaroControl	69,19	65,38	65,97	65,38
IAA	93,6	75,92	90,84	75,92
LFV	96,63	89,4	95,9	89,4
LGS	93,97	89,62	91,67	89,62
LPS	72,66	72,14	80,4	72,14
LVNL	43,04	41,65	52,78	41,65
MATS	100	100	100	100
M-NAV	100	100	100	100
MoldATSA	100	71,43	100	71,43

Arnaldo, Gómez y Sanz - Análisis DEA de los proveedores de Servicios de Navegación Aérea en el marco del Cielo Único Europeo.

MUAC	100	100	100	100
NATA Albania	100	100	100	100
NATS (Continental)	100	51,98	100	51,98
NAV Portugal (Continental)	77,27	74,12	80,69	74,12
NAVIAIR	58,43	56,86	59,6	56,86
Oro Navigacija	82,55	82,27	83,48	82,27
PANSA	66,96	66,51	66,73	66,51
ROMATSA	55,45	51,96	53,23	51,96
Skyguide	65,54	61,9	70,81	61,9
Slovenia Control	100	83,25	100	83,25
SMATSA	85,89	70,18	82,84	70,18

Para los modelos 1 y 3, de retornos variables a escala de las 35 entidades analizadas 15 conforman la envolvente que define la eficiencia, en consecuencia, 20 entidades se identificaron como ineficientes, y podrían generar mayor número de salidas con los recursos actuales, y viceversa producir sus salidas actuales con un menor número de recursos. Los ANSP que sirvieron de referencia para el mayor número de sus semejantes fueron MUAC, NATA Albania y DCAC Cyprus. Estos deberán analizarse internamente para identificar las prácticas que les permiten tener un alto desempeño.

Para los modelos 2 y 4, de retornos constantes a escala de las 35 entidades analizadas 7 conforman la envolvente que define la eficiencia, en consecuencia, 28 entidades se identificaron como ineficientes, y podrían generar mayor número de salidas con los recursos actuales, y viceversa producir sus salidas actuales con un menor número de recursos. Los ANSP que sirvieron de referencia para el mayor número de sus semejantes fueron los mismos que en los otros dos modelos.

En relación con la selección entre los modelos, se debe recalcar que todos dan criterios de análisis importantes, sobre cómo puede cambiar la situación de un ANPS, mejorando su nivel de salidas o reduciendo su nivel de entradas. La decisión sobre cual alternativa elegir se debe basar en los requerimientos del mercado, y la forma como el ANPS logrará mejorar su sostenibilidad a largo plazo. Se debe tener en cuenta que este análisis es de tipo comparativo, por lo que no se puede afirmar que las entidades clasificadas como eficientes no tengan potenciales de mejora, por esta razón, y para evaluar los progresos de las que se clasifican como ineficientes, se debe realizar este análisis de manera periódica.

## CONCLUSIONES

El método empleado se ha adaptado muy bien al análisis de empresas que emplean en su proceso productivo múltiples inputs y generan varios outputs (capacidad, seguridad, demora, etc...) como es el caso de los proveedores de servicios de navegación aérea.

Los resultados obtenidos han permitido analizar los distintos proveedores de servicios de navegación aérea europeos en términos de eficiencia relativa, así como determinar que estrategias y actuaciones deberían acometer cada uno de ellos para llegar a un nivel de eficiencia óptima. Este análisis comparativo permite determinar cuáles son los proveedores que tiene un mayor margen de mejora de eficiencia para conseguir los objetivos fijados por el marco de evaluación del Cielo Único Europeo, así como determinar cuáles son los proveedores que más eficientemente están trabajando.

Adicionalmente la aplicación del método ha ofrecido una gran cantidad de información particularizada para cada empresa que puede ser empleada para establecer guías de actuación de cara a mejorar la eficiencia de las unidades ineficientes.

Arnaldo, Gómez y Sanz - Análisis DEA de los proveedores de Servicios de Navegación Aérea en el marco del Cielo Único Europeo.

En conclusión el estudio ha permitido constatar que el Análisis Envolvente de Datos es apropiado para analizar la eficiencia del sector público del transporte aéreo y en particular en la provisión de servicios de Navegación Aérea, a pesar de que este sector ha sido resistente a otros métodos, debido a la naturaleza compleja y a menudo desconocida de las relaciones entre las múltiples entradas y salidas que pueden participar para la evaluación de las diferentes empresas.

## REFERENCIAS

- [1] Regulation (EU) No 390/2013 of 3rd May 2013, laying down a performance scheme for air navigation services and network functions.
- [2] Charnes, A., W.W. Cooper, and E. Rhodes, 1978, Measuring the efficiency of decision making units, *European Journal of Operational Research* 2, 1988429-444.
- [3] Ahn, T., A. Charnes and W.W. Cooper, , "Efficiency Characterizations in Different DEA Models," *Socio-Economic Planning Sciences* 22, 253-257.
- [4] William W. Cooper , Lawrence M. Seiford y Joe Zhu. *Data envelopment analysis. History, Models and Interpretations.*
- [5] Charnes, A. y W.W. Cooper, "Management Models and Industrial Applications of Linear Programming", 2 vols., John Wiley and Sons, Inc., New York,1961
- [6] Performance Review Report. An Assessment of Air Traffic Management in Europe during the Calendar Year 2012. Eurocontrol.
- [7] ATM Cost-Effectiveness (ACE) Benchmarking Report. Prepared by the Performance Review Unit (PRU) with the ACE Working Group. Eurocontrol. desde 2001 a 2011.