

REVISTA DE LA

OACI

VOLUMEN 52, NÚMERO 3

ABRIL DE 1997



SIMULACIÓN ATM

- Libre elección de rutas
- CNS/ATM: costos y beneficios

Un estudio de rentabilidad realizado por España da resultados positivos a nivel nacional

Un reciente análisis de rentabilidad realizado en España revela que el valor de los beneficios de los nuevos sistemas CNS/ATM supera los costos de su implantación en varios escenarios diferentes. En todos los casos, los beneficiarios fueron el proveedor ATS, el explotador de aeronaves y los pasajeros de línea aérea.

DAVID DIEZ

AEROPUERTOS ESPAÑOLES Y
NAVEGACIÓN AÉREA

MIGUEL NÁRDIZ

ARTHUR ANDERSEN
(ESPAÑA)

EL CONCEPTO de sistema mundial de comunicaciones, navegación y vigilancia/gestión del tránsito aéreo (CNS/ATM) que se está implantando en todo el mundo fue adoptado por los Estados contratantes de la OACI en 1991. Aparte de las evidentes ventajas tecnológicas ofrecidas por los nuevos sistemas, el apoyo al concepto se basó en un amplio estudio económico e indicó que, en todo el mundo, los beneficios superaban ampliamente los costos de implantar las nuevas tecnologías.

Aunque este estudio indicó que la implantación del concepto de sistema de navegación aérea del futuro era rentable a nivel mundial, se necesitaba más información sobre sus implicaciones a nivel regional y nacional. Por esa razón, se exhortó a los Estados a emprender sus propios análisis de rentabilidad para determinar cómo se verían afectados por la implantación de los nuevos sistemas.

En España, Aeropuertos Españoles y Navegación Aérea (Aena) inició un análisis de costos y beneficios a fin de evaluar la viabilidad económica de implantar las nuevas tecnologías en el país y analizar diferentes alternativas de implantación para determinar la mejor opción. El estudio se concentró en los espacios aéreos que se muestran en la *Figura 1*.

El análisis, realizado en un período de 10 meses por un equipo de la Dirección de sistemas e instalaciones de Aena y de la firma consultora Arthur Andersen, se terminó en junio de 1996. Los resultados globales revelaron que el valor de los beneficios supera ampliamente los costos en varios escenarios diferentes.

Metodología del análisis

El análisis de rentabilidad se realizó comparando el denominado "caso proyecto" (implantación del concepto de sistemas CNS/ATM) con el "caso base" (retención a largo plazo de la tecnología terrestre existente). Los analistas determinaron el beneficio neto, o más bien el valor actual neto (NPV), de los nuevos sistemas que se presenta en detalle en la publicación de la OACI, Aspectos económicos de los servicios de navegación aérea por satélite (Circular 257 de la OACI).

Dicho texto de orientación de la OACI se concentra principalmente en métodos para determinar los costos de explotación de los sistemas actuales y nuevos y en las consecuencias de estos dos sistemas sobre el costo de la explotación de aeronaves. La implantación de los nuevos sistemas CNS/ATM es compleja y consiste de un paquete de inversiones. Las medidas de la viabilidad del nuevo paquete de inversiones (el caso proyecto) se basan en una

comparación con los costos de mantener los sistemas existentes en ausencia de transición a las nuevas tecnologías (el caso base). En otras palabras, los beneficios de implantar los sistemas CNS/ATM incluirán los ahorros consecuencia de la retirada de ayudas con base en tierra de tecnología actual. Los beneficios también incluirán la reducción de los costos de explotación de aeronaves lograda con el aumento de la capacidad del espacio aéreo y/o de trayectorias de vuelo más directas posibilitadas por los nuevos sistemas. La reducción del tiempo de vuelo de los pasajeros es otra ventaja que puede expresarse en términos monetarios.

El enfoque de NPV o ciclo de vida útil es un método riguroso para obtener una medida de la performance económica esperada de un proyecto de inversión y se concentra en el movimiento anual de efectivo de costos y beneficios relacionados con el proyecto. Como se indica en la circular de la OACI, estos costos y beneficios en términos de movimiento de efectivo no se distribuirán uniformemente en el tiempo. Normalmente, habrán grandes gastos en los primeros años de un proyecto nuevo, seguido de varios años de beneficios así como de costos de explotación y mantenimiento.

En la *Figura 2* se muestra la metodología general aplicada en el análisis de rentabilidad realizado en España, que se basa en el enfoque NPV.

El caso base incluye las inversiones y los costos de mantenimiento, explotación, instrucción, etc., en los que se incurriría en los próximos 20 años si no se implantaran los nuevos sistemas y se continuaran usando las tecnologías convencionales. El caso proyecto comprende inversiones y costos relacionados con la implantación de los sistemas CNS/ATM en un período de 20 años. Los costos del caso proyecto corresponden a los sistemas avanzados y a los sistemas de tecnología actual, como el SSR, que también estarían presentes en el caso proyecto. Este último también tiene en cuenta los beneficios que se obtendrían de trayecto-

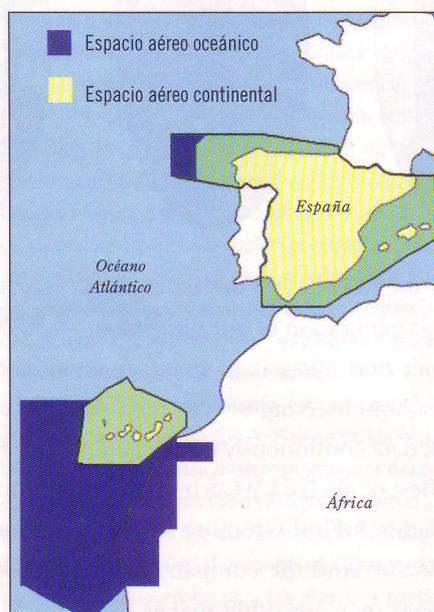


Figura 1. El análisis de rentabilidad en España se concentró en las FIR peninsulares y en la FIR Canarias.

rias de vuelo más directas y de reducción de demoras.

Se excluyeron del cálculo de costos los gastos anuales sustanciales que son comunes al caso proyecto y al caso base durante todo el periodo del análisis, comprendiendo muchos de los costos de mantener, ampliar y explotar el sistema ATC español (denominado SACTA).

Escenarios de implantación

Dado que el concepto de sistemas CNS/ATM ofrece diferentes alternativas en cuanto al tipo de equipo utilizado para realizar las diferentes funciones, se consideraron 12 escenarios en el caso del proyecto. Las diferencias entre estos escenarios se limitan al equipo que se utiliza para comunicaciones aeroterrestres y para vigilancia.

Las dos alternativas de comunicaciones aeroterrestres que diferencian los escenarios son el enlace de datos en muy alta frecuencia (VHF), denominado VDL, utilizado para voz y datos, y el servicio móvil aeronáutico por satélite (SMAS) en voz y datos. En la vigilancia, las alternativas son el radar secundario de vigilancia monopoluso (MSSR), el radar en Modo S y la vigilancia dependiente automática (ADS), basada en VDL o SMAS. El sistema de navegación, común a todos los escenarios, se basa en los sistemas de satélite aumentados por el servicio europeo de complemento geoestacionario de navegación (EGNOS), que es un sistema de aumentación de área amplia (WAAS) que permite aproximaciones de Categoría I. El sistema de aumentación de área local (LAAS) y el sistema de aterrizaje por microondas (MLS) son las alternativas para las aproximaciones de Categorías II y III. El sistema ATM, también común a los 12 escenarios considerados, se basa en el sistema ATC actual aumentado principalmente por sistemas ATC automatizados y expertos que soportarán comunicaciones digitales entre controlador y piloto (CPDLC), y que realizarán parte de las actuales labores rutinarias del controlador. Esta reducción en la carga de trabajo permitirá a éste gestionar un mayor número de aeronaves y aumentar la capacidad ATC. El elemento más importante de la gestión del tránsito aéreo a bordo es el equipo de navegación de área (RNAV) que permitirá rutas más próximas entre sí y más directas. En todos los escenarios del caso de proyecto, se supone que se retiran gradualmente de servicio equipos como el VOR, DME, NDB e ILS, y que el radar primario se sustituye por ADS en la mayoría de los casos, manteniéndose en un mínimo el número de radares secundarios. Las comunicaciones orales se susti-

tuyen progresivamente por comunicaciones de datos.

El escenario que generó los resultados más impresionantes, que llamaremos Escenario 1, supone la implantación de las siguientes tecnologías: en el espacio aéreo continental, las comunicaciones se proporcionarán mediante VDL (configuración redundante), la navegación se basará en WAAS-EGNOS más LAAS o MLS, y la vigilancia utilizará MSSR (cobertura simple) más ADS (VDL). La ATM se basará en el sistema ATC SACTA más sistemas expertos y automáticos. En el espacio aéreo oceánico, las comunicaciones se realizarán utilizando SMAS (configuración redundante) y la vigilancia se basará en ADS/SMAS (configuración redundante). Los sistemas de navegación y ATM serían los indicados para el espacio aéreo continental (excepto LAAS/MLS).

La implantación de estas tecnologías por los proveedores de servicios ATS debe ser acompañada de la instalación de aviónica compatible correspondiente a bordo de la flota de aeronaves. En el Escenario 1, se supone, por ejemplo, que el 100% de la flota comercial y flota de la aviación general IFR estará equipada con navegación EGNOS/WAAS, comunicaciones VDL de acceso múltiple por distribución en el tiempo (TDMA) y vigilancia ADS; el equipo de comunicaciones por satélite (SMAS) estará instalado en el 50% de la flota comercial internacional y flota de aviación general IFR; y así sucesivamente.

Beneficios por eficiencias

Las mejoras en navegación, comunicaciones y vigilancia y en gestión del tránsito aéreo previstas de la implantación de los nuevos sistemas generarán beneficios en forma de mejor eficiencia de los vuelos y reducción en las demoras. Para los explotadores de aeronaves, estas mejoras generarán economías en combustible y en otros costos de explotación de aeronaves. Para los pasajeros, resultarán en menor tiempo de viaje.

Las ventajas en la eficiencia representadas por el caso del proyecto (los 12 escenarios diferentes) se han calculado para un número máximo de aeronaves igual al número máximo que el caso base podría acomodar.

Aunque es evidente que los casos proyecto podrían tramitar más aeronaves que el caso base, los posibles beneficios derivados de estas aeronaves adicionales no se han cuantificado, porque la validez y la importancia de los mismos es cuestionable. En el caso base, una vez alcanzado el número máximo de aeronaves que puede acomodar el sistema ATS, la cre-

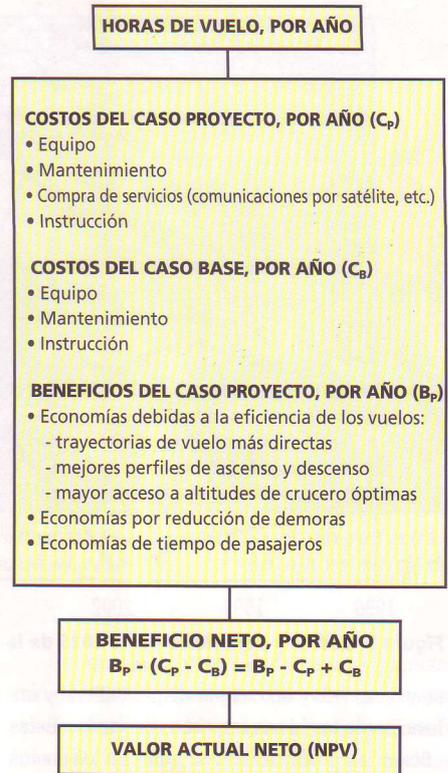


Figura 2. Metodología para calcular el valor actual neto.

ciente demanda de pasajeros continuará satisfaciéndose mediante la sustitución de las aeronaves existentes por aeronaves de mayor capacidad. Los beneficios de estas sustituciones para los explotadores — que no se cuantifican en el caso base — serían compensados por los beneficios obtenidos de la introducción de más aeronaves en diferentes escenarios del caso del proyecto, al menos durante el periodo de 20 años considerado en el análisis.

Se ha supuesto que todos los escenarios del caso proyecto producirán al final la misma cantidad de beneficios en términos de mejor eficiencia de los vuelos y menores demoras. Obviamente, algunos escenarios tienen leves ventajas respecto de otros desde el punto de vista operacional (mejor cobertura a bajas altitudes o en zonas montañosas, mejores niveles de redundancia, menores demoras de tránsito en el enlace de datos, etc.), o incluso desde el punto de vista institucional, que deberían tenerse en cuenta al decidir entre escenarios con relaciones de costo-beneficios similares.

Eficiencia de vuelo

Las mejoras obtenidas con la implantación de sistemas CNS/ATM producirán una mayor eficiencia en forma de rutas directas, procedimientos más breves y más eficientes de aproximación y despegue, mejores perfiles de ascen-

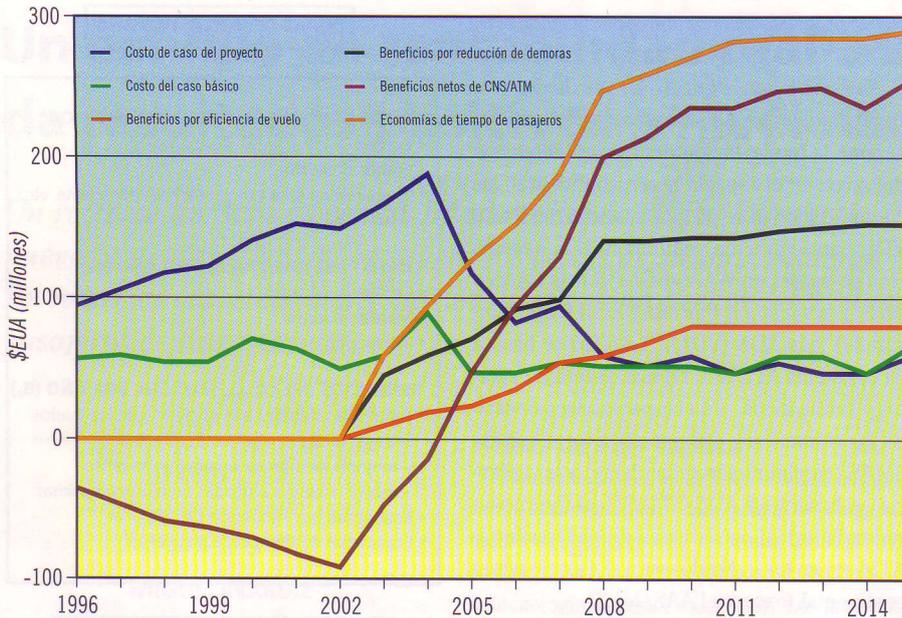


Figura 3. Costos y beneficios hasta 2015 de la implantación de los sistemas en el Escenario 1.

so y descenso y una mayor disponibilidad y utilización de los niveles óptimos de vuelo. Estas eficiencias producirán economías en los costos de combustible y de tripulación.

A efectos de cuantificar todas estas economías de costos, que beneficiarán principalmente a los explotadores, debió estimarse el porcentaje de aeronaves equipadas en un determinado momento con la aviónica requerida. También se estimaron las fechas en que se prevé que entrarán en funcionamiento los nuevos sistemas CNS/ATM y las estructuras de espacio aéreo y procedimientos asociados necesarias para alcanzar la eficiencia mencionada.

Las mejoras en la eficiencia se basan principalmente en:

- precisión de la navegación RNAV, utilizando EGNOS (WAAS), que permitirá aplicar un concepto denominado "separación reducida lateral de rutas" y, en consecuencia, una estructura de rutas directas mucho más eficientes caracterizadas por el amplio uso de pares de aerovías paralelas con separación reducida orientadas en sentidos opuestos en vez de aerovías bidireccionales. La eliminación de las aerovías bidireccionales permitirá obtener perfiles óptimos de ascenso y descenso, no escalonados puesto que las aeronaves no se verán limitadas por el tráfico en dirección opuesta.
- la reducción de la carga de trabajo del controlador por aeronave como resultado de la implantación gradual de nuevas funciones automáticas que, a su vez, utilizarán ampliamente el enlace de datos aeroterrestre y los mensajes CPDLC. Esta menor carga de trabajo hará posible que el controlador autorice

cada vez más trayectorias directas, especialmente en el área de control terminal durante la aproximación y el despegue.

- mejor vigilancia, basada en ADS y su integración con radar, que permitirá la aplicación de mínimas de separación cada vez más reducidas puesto que se asegurarán mayores niveles de precisión, disponibilidad, integridad y continuidad del servicio.

Otra hipótesis es las fechas en que se espera comiencen a obtenerse las eficiencias indicadas. Éstas dependen de cuándo comenzarán a funcionar en el espacio aéreo en cuestión los sistemas CNS/ATM y, a su vez, esta fecha reflejará el escenario escogido. Existen varios escenarios, pero el elemento que los diferencia y tiene las mayores consecuencias en el desarrollo de la eficiencia de vuelo es el sistema de enlace de datos, que puede ser SMAS o VDL. En el caso de escenarios basados en SMAS, las eficiencias de vuelo comenzarían a tener efecto en 2003 y lograrse plenamente para 2006. Para escenarios VDL, se supone que las eficiencias de vuelo se iniciarán también en 2003, pero que no se lograrán plenamente hasta 2010.

Se espera que las eficiencias comiencen a aparecer en 2003 para escenarios SMAS y VDL a pesar de que la aviónica compatible con el SMAS comenzará a implantarse mucho antes que la aviónica VDL. La razón de esto es que las mejoras en la eficiencia no serán importantes hasta que esté disponible el EGNOS (WAAS). Los escenarios SMAS suponen que las mejoras máximas en la eficiencia se logran más rápidamente que en los escenarios VDL porque el enlace de datos SMAS se implantará

en todas las aeronaves antes que el VDL.

La cuantificación de las economías en tiempo y combustible, obtenidas de las eficiencias de vuelo proporcionadas por los casos proyecto respecto del caso base, ha sido una tarea difícil y compleja. El análisis indica que una vez plenamente implantados los nuevos sistemas CNS/ATM, las economías resultantes de los mejores perfiles de ascenso y descenso y de la mayor disponibilidad de niveles de vuelo óptimos en la región de información de vuelo (FIR) Canarias representarán el 1,5% del combustible total que se consumiría por todas las aeronaves en el caso base. Para las FIR peninsulares en su totalidad, las economías serían del 1,3%.

Los ahorros generados por las rutas directas y las trayectorias más cortas en áreas de control terminal en la FIR Canarias serían del 2,7% del número total de horas de vuelo realizadas por todas las aeronaves en el caso base. Para las FIR peninsulares en su totalidad, sería del 3,4%. Obviamente, una reducción de las horas de vuelo significa ahorros en los costos de combustible y tripulaciones.

Reducción de las demoras

Cuando los volúmenes de tráfico se acercan a la capacidad teórica de tramitación de tráfico del espacio aéreo, la congestión resultante puede provocar demoras en los vuelos y perturbaciones en los horarios. A menos que se aumente la capacidad, el crecimiento de la demanda provocaría una rápida escalada de la congestión y las demoras, con graves consecuencias para los costos de explotación de las aeronaves y el tiempo de viaje de los pasajeros. Además, las demoras inaceptables limitarían la demanda, dado que los pasajeros optarán por otros medios de transporte más eficientes. La reducción de la mínima de separación y la mejora de la gestión del espacio aéreo que se lograrían con la implantación de los sistemas CNS/ATM aumentarían la capacidad y, por consiguiente, eliminarán la mayor parte de los costos de congestión que de otra forma ocurrirían.

Para estimar los beneficios resultantes de una reducción de las demoras, ha sido necesario pronosticar la medida de las demoras que cabría esperar anualmente en caso de que no se implantaran los sistemas CNS/ATM.

Los beneficios que han sido tenidos en cuenta son solamente aquellos que se relacionan con los vuelos que salen de los aeropuertos españoles o llegan a éstos. Estos beneficios se han calculado separadamente para vuelos domésticos, limitados por la capacidad del sistema ATS español, y para vuelos interna-

cionales, limitados principalmente por la capacidad del sistema ATS europeo.

Para estimar los beneficios de la reducción de las demoras, se ha supuesto que el aumento de la capacidad teórica respecto del caso base, como consecuencia de la implantación de los sistemas CNS/ATM, llegará al 50% entre 2002 y 2015. Si no se implantaran estos sistemas, se estima que las mayores demoras impedirán un crecimiento del tráfico doméstico (en términos de número de vuelos) a partir de 2008, y que el tráfico internacional se estancará en 2003. Dependiendo del tipo de aeronave, el costo horario medio de una demora se ubicó entre \$1 223 y 1 408 EUA.

Ahorros en tiempo de los pasajeros

Las mejoras de CNS/ATM que permitirán trayectorias de vuelo más directas y reducirán la congestión del espacio aéreo y las demoras de los vuelos, también reducirán el tiempo de viaje de los pasajeros. Si éstos valoran tales economías de tiempo, estas representan obviamente un beneficio adicional.

Las economías de tiempo dependerán del tamaño de las aeronaves (número medio de asientos para cada tipo), de los factores de carga medios y del valor que el pasajero asigne al tiempo.

En la práctica es extremadamente difícil cuantificar dicho valor que depende de la percepción del pasajero y de la finalidad del viaje (placer o negocios). Dado que a veces se cuestiona su validez y que, en última instancia, depende de que el pasajero esté dispuesto a pagar por ello, esta ventaja no se ha incluido en el cálculo del beneficio neto del caso proyecto; no obstante, se ha calculado para fines de información, teniendo en cuenta las horas de vuelo ahorradas y suponiendo un costo aproximado de \$25 por hora (valor obtenido del análisis de



Las mejoras CNS/ATM que reducen las demoras de los vuelos también reducirán el tiempo de viaje de los pasajeros, aunque el valor de esta ventaja es difícil de cuantificar. Foto Boeing

costo-beneficio de los servicios de trenes de alta velocidad en España).

Resultados del análisis

Los resultados indican que todas las alternativas son rentables en todo el país, tanto desde el punto de vista del proveedor de servicios ATS como del explotador de aeronaves. El análisis también indicó que todas las alternativas son ventajosas para el pasajero.

En la *Figura 3* se ilustra el movimiento anual de costos y beneficios en el período de 20 años para el Escenario 1. El valor actual neto total para el Escenario 1, incluyendo las consecuencias para el proveedor de servicios ATS y los explotadores de aeronaves, se estima en \$389 millones (todas las cifras se expresan en dólares EUA). Este resultado es mejor que los resultados equivalentes para otros escenarios. Para el Escenario 1, el NPV para el proveedor ATS es de \$82 millones y para los explotadores de aeronaves de \$307 millones. El valor de las economías en tiempo de pasajeros se calcula en \$823 millones para este escenario — un beneficio adicional impresionante aunque quizá debatible.

En la *Figura 4* se presenta un resumen de los resultados para todos los escenarios. Las ventajas de la reducción en el tiempo de vuelo de los pasajeros no se han incluido en el beneficio total dado que, como se señaló anteriormente, su validez es a veces cuestionada. No obstante, estos beneficios se han medido y se presentan en forma independiente.

Aunque los costos de inversión y explotación del caso proyecto son en todos los escenarios superiores a los del caso base, los beneficios de mejorar las eficiencias de vuelo y disminuir las demoras producen resultados positivos generales.

Dado que no hay grandes diferencias en la rentabilidad de los diferentes escenarios, cobra especial importancia el análisis de sensibilidad. Esto se debe a que una pequeña diferencia en el valor de ciertas variables, como el costo por kilobit de las comunicaciones por satélite, podría afectar la jerarquización de los escenarios basada en las ganancias. Por ejemplo, si este costo fuera de \$0,40 en vez de \$0,50, el Escenario 5 en que se proporciona doble cobertura de vigilancia por ADS/VDL y ADS/SMAS, y en que las comunicaciones por satélite ofrecen redundancia y servicio en zonas no abarcadas por VDL, sería tan rentable como el Escenario 1.

No ha sido el objetivo de este análisis costo-beneficio el alcanzar una conclusión definitiva en cuanto a cuál es la mejor alternativa para España, ya que para ello habrá que tener en cuenta también aspectos institucionales y políticos. Este análisis y sus resultados han de ser considerados como una orientación para ayudar a seleccionar la mejor alternativa posible, ayudar a otros analistas a realizar cálculos más detallados sobre estas cuestiones y, finalmente, como una ayuda a la planificación de la implantación CNS/ATM en España. □

David Díez, de Aeropuertos Españoles y Navegación Aérea (Aena), fue el Director técnico del análisis. Miguel Nárdiz, de Arthur Andersen, firma consultora en asuntos financieros, fue el Director de ejecución.

Escenario	Proveedor de servicios ATS	Explotadores de aeronaves	NPV Total	Economías de tiempo de pasajeros
Escenario 1	82 165	306 723	388 888	822 681
Escenario 2	131 196	202 034	333 230	865 323
Escenario 3	109 500	183 735	293 235	865 323
Escenario 4	32 197	294 563	326 760	865 323
Escenario 5	39 013	289 184	328 197	865 323
Escenario 6	144 904	212 746	357 650	865 323
Escenario 7	105 333	281 589	386 921	829 544
Escenario 8	143 806	182 646	326 452	865 323
Escenario 9	128 886	178 458	307 344	865 323
Escenario 10	69 777	279 097	348 874	865 323
Escenario 11	68 951	274 724	343 675	865 323
Escenario 12	149 364	202 761	352 125	865 323

Figura 4. Valor neto actual en miles de dólares para 12 escenarios. Se indica un resultado positivo para cada escenario.