

Retos tecnológicos de la aviación para un transporte sostenible

Alberto García Pérez

www.mundoaeronautico.es

Fotos: Alberto García, USAF, NASA, EADS, Boeing, Thales

Introducción

El calentamiento global y su impacto social y político están imponiendo una fuerte presión en todas las industrias para reducir el nivel de las emisiones y la aviación no es una excepción. Por ejemplo, un pasajero que vuele entre Londres y Nueva York consume la misma cantidad de CO₂ que la calefacción que emplearía para calentarse durante un año. Aunque bajo esta perspectiva parece que el hecho de volar supone un derroche significativo de CO₂, es también cierto que únicamente es responsable del 2,5% de las emisiones globales, frente al 52% del resto del transporte o el 40% de otras industrias. Sin embargo, existen ciertas características peculiares que obligan a prestarle especial atención. En primer lugar, las emisiones de la aviación se producen en altura, en capas de la atmósfera muy estables donde las reacciones químicas pueden producirse durante años de forma ininterrumpida. En segundo lugar, la aviación tiene una especial dependencia del petróleo, siendo a día de hoy la única fuente de energía viable. En tercer lugar, el sector de la aviación está creciendo a ritmos excepcionales. Sólo entre 1993 y 2003, el transporte de pasajeros se ha incrementado un 73% y las previsiones indican que podría aumentar hasta el 150% en 2012 considerando el mejor escenario económico.

Impacto económico en la aviación

Recientemente, la Unión Europea ha aprobado una normativa que obligará a los aviones que operen en Europa a que rebajen sus emisiones hasta en un 5% para el 2013 respecto de sus emisiones del período comprendido entre 2004 y 2006. La medida va dirigida fundamentalmente a las compañías aéreas con el fin de forzarles a renovar la flota y adquirir así motores más modernos, aunque podrán comprar y vender sus “derechos de contaminación”. Es decir, una vez asignados los niveles de emisiones por aerolínea, éstas podrán optar por dos estrategias opuestas. La primera consistiría en realizar una fuerte inversión para adquirir aeronaves más modernas y eficientes con el fin de reducir sus emisiones por debajo del máximo estableci-





El descenso continuo hasta la pista eliminará los cambios de potencia necesarios hasta ahora.

do. El resto no emitido lo podrá vender a otras aerolíneas que prefieran no seguir esta misma estrategia financiera. De esta forma, se crea un mercado de derechos de contaminación donde, en su conjunto, no se emite por encima de lo establecido, pero se da flexibilidad a las empresas para que decidan qué política seguir. Pero, ¿cómo medir lo que una aerolínea realmente ha emitido? La solución que se ha encontrado por ahora es basar su cálculo en la compra anual de combustible de cada aerolínea.

Según Boeing, este tipo de acciones conseguirá que se incremente la demanda de renovación de aeronaves en los próximos 20 años hasta en un 43% con una inversión global de 3.200 millones de dólares. Los usuarios, obviamente, pagarán el precio de esta inversión, lo que podría traducirse en incremen-

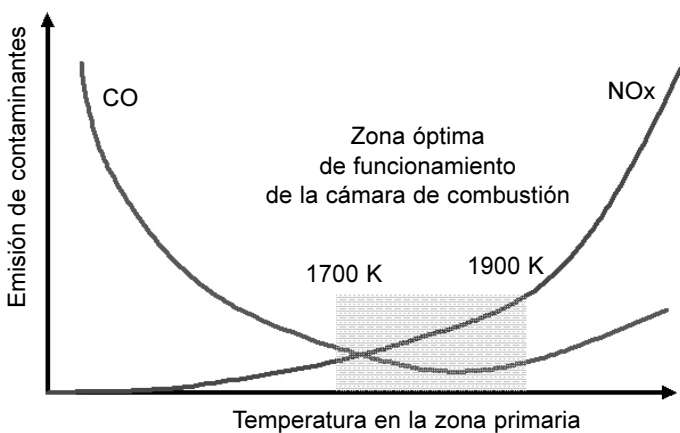
tos en los billetes entre 2 y 9 euros para vuelos continentales y hasta 40 euros en los intercontinentales.

Áreas de investigación

Con el fin de preparar y concienciar a la industria en la búsqueda de soluciones para reducir emisiones, la Unión Europea también ha lanzado el programa ACARE (“Advisory Council for Aerospace Research in Europe”), donde se subvencionan proyectos de investigación encaminados a reducir para el año 2020 las emisiones de ruido percibido en un 50%, las emisiones de NO_x en un 80% y las emisiones de CO₂ hasta en un 50% por pasajero y kilómetro. A continuación se detallan algunas de las áreas donde se está trabajando en la actualidad.

Optimización de la navegación aérea

La principal punta de lanza en el ámbito de la navegación aérea es el programa SESAR (“Single European Sky Air Traffic Management Research”). Su objetivo es la búsqueda de la optimización del espacio aéreo en Europa, ya que la actual ineficiencia del sistema supone sobrevolar centros de control de distintos países. El resultado es que para volar entre dos puntos situados en Europa, rara vez se hace en la actualidad siguiendo una línea recta, sino siguiendo una poligonal que supone, en la práctica, dar una



Dilema de las emisiones de un motor.

vuelta innecesaria. Con la reunificación del cielo europeo, de tal manera que la división del espacio aéreo no se realice por naciones sino por áreas geográficas, se estima que se podría reducir el consumo de combustible hasta en un 10% respecto en las rutas actuales. El proceso de unificación ya ha comenzado. Así, por ejemplo, AENA ya está en conversaciones con su homónima portuguesa con el fin de crear un único espacio aéreo en la Península Ibérica.

También se está evaluando la capacidad de establecer nuevos procedimientos de descenso que permitan, por ejemplo, emplear únicamente potencia de ralentí desde el inicio de la fase de descenso hasta la aproximación final, en lugar de realizar cambios de potencia como hasta ahora debido a cambios de nivel o adaptación a otros tráficos de aproximación. En la práctica, esta técnica requiere de procedimientos cuatridimensionales de trayectoria donde el tráfico aéreo debe calcular también el tiempo requerido de llegada al umbral de la pista en base a la configuración aerodinámica del avión y de sus prestaciones en vuelo particulares.

Con esta optimización de la fase de descenso y aproximación se espera reducir el consumo de combustible entre 50 y 150 kg por trayecto medio, o entre 160 y 470 kg de CO₂. Otra ventaja adicional sería la reducción del ruido aeroportuario entre 1 y 5 decibelios. Las principales organizaciones europeas ya están trabajando en esta área y se espera que se pueda aplicar al menos a 100 aeropuertos antes del 2014, con un ahorro global de 150.000 toneladas de combustible, 100 millones de euros o hasta medio millón de toneladas de CO₂ al año. De momento, ya se han



NASA Wake Vortex Study at Wallops Island
NASA Langley Research Center 5/4/1990 Image # EL-1996-00130

Los estudios de la NASA y Europa permitirán aumentar el número de operaciones aeroportuarias.

realizado este tipo de aproximaciones en el aeropuerto de Estocolmo, pero únicamente para un avión. En un futuro próximo, el aeropuerto parisino de Charles de Gaulle también se sumará a este ejercicio.

Expandir esta tecnología al ámbito operacional habitual de un aeropuerto es realmente el reto a superar, especialmente porque el orden y la separación entre las aeronaves durante la aproximación final depende de las estelas producidas. En la actualidad, toda aeronave se clasifica en cuatro grandes grupos según su peso máximo al despegue y la intensidad de su estela en aproximación: pequeña, grande, Boeing B-757 y muy alta. Así, por ejemplo, si aterriza un A380, un avión del tamaño de un B-737 o A320,



EADS - Hyliner con configuración Boxwing y motores ensamblados, que garantizan una mayor estabilidad y economía de combustible en vuelo.



Boeing y la NASA están experimentando con el X-48 para evaluar las ventajas e inconvenientes de este concepto.



El cielo único y una nueva generación de software permitirá optimizar las rutas aéreas.

deberá esperar 3 minutos para pasar por el mismo punto, y un avión de negocios, como el Gulfstream V, deberá esperar un minuto más para evitar comprometer la seguridad en vuelo. Estas reglas de separación se establecieron en los años 70 con la aparición de los aviones de doble pasillo tras varios años de investigación por parte de la NASA. Sin embargo, se piensa que estos criterios se podrían relajar aprovechando las nuevas tecnologías con el fin de aumentar la frecuencia de operaciones por hora en los aeropuertos, auténticos cuellos de botella en el actual panorama aéreo mundial. En este aspecto, tanto Europa como Estados Unidos están embarcados en programas de investigación con el fin de comprender mejor los mecanismos de formación de las estelas, su propagación en la atmósfera y cómo pueden ser detectadas, empleando para ello técnicas láser, con el fin de adecuar el tráfico aéreo de forma más eficaz.

Uso de nuevos materiales

Los fabricantes de aeronaves suelen evaluar los costes de cada nuevo avión que lanzan al mercado. La elección de los materiales afecta a la carga útil de la aeronave y a su consumo de combustible. Al aumentar el peso, es necesario más combustible para la misma configuración aerodinámica. La elección final depende del tipo de misión que vaya a realizar la aeronave. Si la misión es de corto alcance, interesa que el coste inicial sea bajo y, por tanto, los materiales ocupan un segundo papel. Si la misión típica es de largo alcance, entonces el peso se convierte en un parámetro crítico ya que su reducción, para la misma cantidad de combustible, permite aumentar la carga útil o aumentar el alcance de la aeronave. Es por ello que en los nuevos diseños, como el B-787 o el A350XWB, se está comenzando a emplear materiales compuestos en sustitución del aluminio y el acero, aunque todavía es necesario resolver algunos problemas estructurales asociados fundamentalmente a la unión de los paneles entre sí. El uso de materiales compuestos en cada vez más zonas del fuselaje y las alas obliga a introducir láminas metálicas que ayuden a generar un efecto de jaula de Faraday con el fin de disipar la energía recibida en caso de impacto de rayo, que resultaría de otra manera en un daño considerable a la estructura.

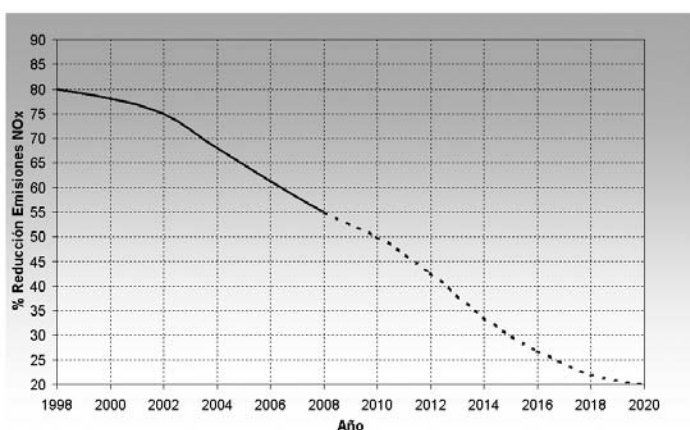
Mejoras aerodinámicas en aeronaves

Además de la optimización de los perfiles supercríticos, alas en flecha y *winglets* o puntas de alas, los investigadores están realizando un enorme esfuerzo por desarrollar técnicas para retrasar la transición de



Boeing ha ensayado en Madrid una Diamond propulsada únicamente por medio de pilas de combustible.

la capa límite y extender así la zona laminar, ya que posee menos resistencia aerodinámica. Ensayos de ONERA, por ejemplo, han demostrado que se puede reducir la resistencia hasta un 7% si se succiona la capa límite, en la zona del borde de ataque del perfil justo antes de alcanzar su espesor máximo. Para ello se recurre al uso de taladros con láser sobre estas superficies y distintas combinaciones de diámetro, porosidad o tamaño de las cámaras internas donde se absorberá la capa límite por succión. Si esta tecnología se aplicara también al empenaje de cola y a las góndolas del motor se podrían conseguir reducciones de hasta el 11% en resistencia aerodinámica y prácticamente la misma en consumo de combustible.



Expectativas de reducción de NOx.

El concepto de aeronave comercial también se está reevaluando. Frente a la configuración convencional de tubo con alas y motor colgando de éstas, la NASA, junto con Boeing, están ensayando configuraciones de ala volante híbrida donde los motores se instalan en la parte trasera de la aeronave. Esta posición no es la más idónea para el motor, ya que su funcionamiento se va a ver interferido por el propio fuselaje de la aeronave, lo que causará una reducción de su eficiencia y un aumento del consumo de combustible. Sin embargo, en esta posición el motor succionará la capa límite de la aeronave, proporcionándole energía y evitando así su desprendimiento. El resultado es una menor resistencia aerodinámica del avión que compensa, con creces, el consumo de combustible adicional del motor producido por una instalación no óptima para el motor. Algunos cálculos realizados por la ya extinta McDonnell-Douglas indican que el consumo de combustible del motor podría aumentar entre un 5 y un 10%, pero la resistencia aerodinámica del avión se podría reducir hasta en un 30%, por lo que el beneficio es obvio. El peso máximo al despegue también se reduciría hasta en un 15% respecto de un avión convencional de sus mismas características. Todo ello permitiría instalar hasta un 30% menos de



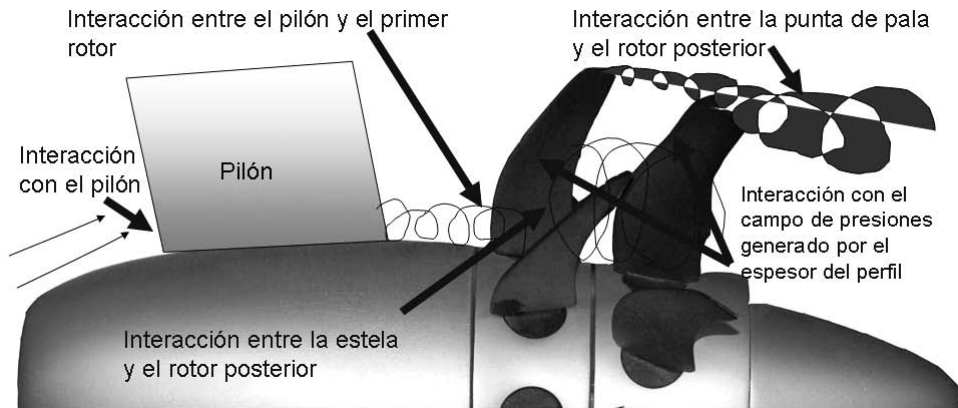
Las ranuras en la tobera del motor del B-787 son el resultado del programa de investigación Quiet llevado a cabo por Boeing.

empuje, pudiéndose eliminar un motor y volar únicamente con cuatro. En la actualidad, Boeing, como heredera de McDonnell-Douglas, junto con la NASA, están realizando pruebas en vuelo de un avión a escala (X-48) con esta revolucionaria configuración para comprobar empíricamente todas estas presuntas ventajas.

Desde el punto de vista de las emisiones de ruido de la aeronave, también existen varias líneas de investigación abiertas. Como es sabido, el ruido aerodinámico se genera por las fluctuaciones de presión creadas por la turbulencia del avión al atravesar un medio fluido (aire). Esta turbulencia está asociada a cuatro fenómenos físicos básicos como son: la resistencia aerodinámica del ala, la resistencia inducida del ala, la resistencia del fuselaje, tren de aterrizaje y otros elementos y por último, a las flexiones del recubrimiento del avión. Además, el ruido aerodinámico es también el responsable de la mayor parte del ruido que se aprecia en el interior del avión en situación de crucero. Incluso en ocasiones, cuando se realiza un mal diseño de los sistemas de presurización y aire acondicionado en aviones con motores turbofán, puede llegar a ser tan importante como el ruido de los motores en la fase de ascenso.



Los motores modernos han reducido sus emisiones hasta un 50% respecto de los años 80.



Los estudios de ruido serán fundamentales para la entrada en servicio de los nuevos motores propfan.

Los estudios actuales se basan, por tanto, en la optimización del tren de aterrizaje, como principal fuente de ruido durante el aterrizaje, para reducir la perturbación de la corriente que introduce. También se está trabajando en la optimización aerodinámica de los dispositivos hipersustentadores, como flaps y slats, con la misma finalidad. En el área del motor, los estudios actuales se basan en minimizar las interacciones de presiones entre rotores y estatores, dentro de la turbomaquinaria, así como en el desarrollo de paneles acústicos que amortigüen las frecuencias más sensibles al oído humano. Aviones como el Boeing 787 incorporan ya muescas en las toberas frías con el fin de aumentar el mezclado de la corriente de aire del motor con la corriente libre, reduciendo considerablemente las emisiones de ruido, especialmente durante la fase de despegue, donde el ruido del chorro del motor es la principal fuente de ruido.

Biocombustibles

Se espera que dentro de 3 a 5 años los aviones comerciales comenzarán a emplear biocombustible en sus vuelos regulares. Tanto Boeing como Airbus han realizado ya exitosos vuelos de prueba donde no se ha



Los procedimientos operativos también se están revisando para reducir el ruido aeroportuario.

apreciado ningún detrimento en las prestaciones de los motores, ni siquiera cuando se les sometía a fuertes aceleraciones y deceleraciones. Sin embargo, todavía es necesario resolver numerosos problemas, como crear una red de proveedores fiables, aumentar la producción de las plantas o algas que sirven de base a los biocombustibles y, sobre todo, asegurar la sostenibilidad y reducir el impacto medioambiental para asegurar que el efecto global sea el de una reducción real de las emisiones de dióxido de carbono.

Para poder abastecer el mercado actual de la aviación comercial, sería necesario aumentar considerablemente el área de plantación, lo que en la práctica significa o bien sustituir los actuales cultivos o bien deforestar zonas de selva. Si los actuales cultivos se cambian, el exceso de producción se reducirá, siendo los países más pobres y peor alimentados los más perjudicados. Aunque países como España ya han comenzado a notar los efectos del desvío de las producciones agrícolas a la industria de los biocombustibles, con un aumento en los precios de mercado de la caña de azúcar, el maíz o el girasol.

Si, en cambio, se deforestan zonas de selva, normalmente quemándolas, se está yendo directamente en la dirección contraria a la búsqueda de una solución sostenible con el medio ambiente. Si se empleara una combinación de keroseno al 85% con biocombustibles al 15%, se necesitaría una superficie equivalente a la península de Florida para poder abastecer únicamente a la aviación comercial.

Pilas de combustible

Sustituir las actuales unidades de potencia auxiliar (APU), basadas en la turbina de gas, por pilas de combustible es otra de las opciones que contemplan los fabricantes de aeronaves. Se estima que el consumo de una APU ronda los 100 a 200 kg/hora, lo que sería sustituido por emisiones de agua y oxígeno si se

basa su funcionamiento en pilas de combustible. Tanto Boeing como Airbus están realizando pruebas para comprobar la viabilidad de esta opción. Airbus, por ejemplo, ha experimentado en un A320 comprobando que tienen potencia suficiente para activar el circuito hidráulico de reserva o los propios alerones del avión incluso bajo la presencia de cargas en vuelo extremas. Sin embargo, todavía quedan muchos problemas por resolver, como el largo tiempo de calentamiento necesario antes de que puedan funcionar, que ronda los 30 minutos, así como la vida operativa, que apenas supera unos pocos cientos de horas.

La industria de la motopropulsión como principal responsable

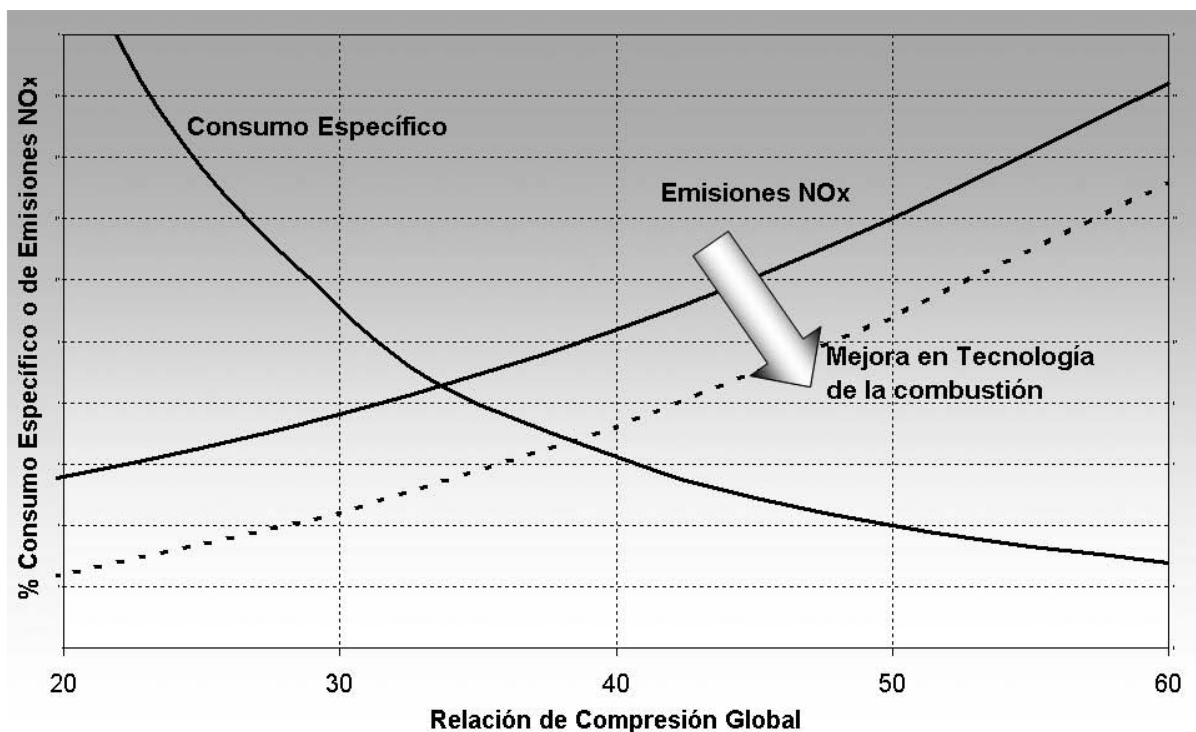
En la década de los 70, el diseño de los motores se centró fundamentalmente en aumentar el empuje. En los siguientes 10 años, el esfuerzo tecnológico se concentró en reducir el consumo de combustible. Sin embargo, en los 90, el principal objetivo era reducir el precio de adquisición y mantenimiento, mientras que en los motores de hoy en día el diseño se centra además en la mejora de las emisiones medioambientales: ruido y emisión de partículas.

A baja potencia, el principal problema en cuanto a emisiones contaminantes es la formación de CO y



Pruebas de reducción de ruidos en el laboratorio de ensayos acústicos de EADS.

de hidrocarburos no quemados. Conforme aumenta la temperatura; es decir, se inyecta más combustible, las altas temperaturas y presiones que se alcanzan consiguen que estos productos parciales de la combustión se reduzcan hasta niveles aceptables. Por tanto, estas emisiones son sólo importantes durante períodos de tiempo relativamente cortos asociados con el encendido y apagado del motor y a potencias de ralentí, ya que su concentración cae rápidamente con el aumento de potencia del motor.



Tendencia actual en el consumo de combustible de los motores de aviación.

A potencias intermedias y altas, el problema se centra en reducir las emisiones de dióxido de carbono (CO_2) y de nitróxidos (NO_x). El dióxido de carbono (CO_2) se produce como consecuencia de la quema de un combustible que contiene carbono, por ejemplo, keroseno. La estrategia para reducir su emisión pasa simplemente por consumir menos combustible. Para reducir el consumo específico de combustible es necesario aumentar la relación de compresión global del motor y el índice de derivación. Si bien estos factores tienden a reducir las emisiones de ruido y de CO_2 , también aumentan las emisiones de NO_x , debido a que se alcanzan mayores temperaturas en el ciclo termodinámico del motor. Estos fenómenos contradictorios comienzan a ser un problema para los fabricantes de motores, ya que ven reducida su capacidad de diseño.

Para evitar esta contradicción, y trabajar en la zona óptima, se recurre a cámaras de combustión multietapa. La primera etapa, llamada cámara piloto, funciona a baja potencia; es decir, cuando la energía contenida en su interior es pequeña. En este caso, se dispone de un gran volumen interior, con un tiempo de residencia muy grande, que ayuda a que las moléculas interactúen entre sí y se reduzcan los hidrocarburos no quemados (CO). Sin embargo, a alta potencia, el aporte de combustible debe aumentar, incrementándose la energía contenida en la cámara y favoreciéndose las reacciones químicas. En este caso, se inyecta el combustible en una segunda cámara de

menor tamaño, que reduce considerablemente el tiempo de residencia y, por tanto, el tiempo disponible para la formación de los óxidos de nitrógeno. El resultado, en el caso del General Electric GE90 (Boeing B-777), es una reducción en las emisiones de NO_x de un 35% y de hasta un 50% en CO. Estos resultados aplicados a una flota de 20 aviones Boeing B-777 supone emitir hasta 177.000 toneladas menos de CO_2 que si se empleara su rival cuatrimotor, lo que equivale al CO_2 absorbido por 17.500 hectáreas de bosque o a retirar casi 30.000 coches al año de nuestras carreteras.

Conclusiones

A pesar de que la industria aeronáutica está realizando un esfuerzo considerable por reducir las emisiones, esta ardua labor de investigación y desarrollo no se transmite a la sociedad. De hecho, el sector de la aviación suele ser atacado por los medios de comunicación por lo que se considera una aptitud pasiva hacia este problema. Como hemos podido ver, trabajar se está trabajando intensamente, pero los problemas a resolver no son sencillos. Y soluciones hay, pero necesitan ser investigadas con más profundidad antes de implantarse en un sector, como es la aviación, donde se requiere un delicado equilibrio entre seguridad en vuelo, coste operativo, prestaciones en vuelo y, ahora también, emisiones contaminantes.