

CONAMA 2020

CONGRESO NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE

RESTAURACIÓN AERONÁUTICA DE LA CAPA DE OZONO

Propuesta y primer análisis de
geoingeniería ambiental sobre la
(in)viabilidad de la idea



Autor: Alex Carazo Rodríguez, Ingeniero de Montes (Instituto de la Ingeniería de España - IIE).

Miembro (VP) del Comité de Sociedad Digital del IIE.

Representante del IIE en CONAMA, en los Comités Técnicos 18, 21 y 43.

1. Título: RESTAURACIÓN AERONÁUTICA DE LA CAPA DE OZONO

Propuesta y primer análisis de geoingeniería ambiental sobre la (in)viabilidad de la idea

2. Palabras clave: aviación comercial, capa de ozono, física atmosférica, ozono estratosférico, ozonizadores.

3. Resumen: investigación teórica de datos e información sobre la fisicoquímica del ozono y su dinámica en la estratosfera; cuantificación estimada de la aviación comercial mundial; breve reseña sobre los ozonizadores industriales y, combinando todo ello: planteamiento y cuantificación inicial de una idea de geoingeniería ambiental sobre el posible impacto de ozonizar con aviones comerciales la capa inferior de la estratosfera.

4. Introducción:

5 PREMISAS

1ª.- SITUACIÓN Y CARACTERÍSTICAS ATMOSFÉRICAS

La capa de ozono, que en realidad es tan tenue en concentración de esta molécula que podríamos considerarla como el equivalente a una lámina de ozono puro¹, se encuentra en la estratosfera, la capa atmosférica entre los 12 y 50 km sobre el nivel del mar, justo encima de la troposfera, que es en la que vivimos y respiramos.

El ozono se encuentra mayormente concentrado entre los 15 y los 35 km de altura, dentro de la estratosfera, según esta distribución gráfica:

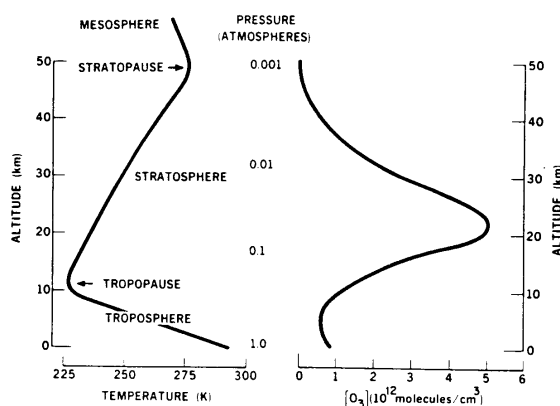


Figura 1. Cortesía de <http://difundecambioglobal.blogspot.com/2013/05/ozono-estratosferico-limite-planetario.html>

¹ La concentración de ozono en la atmósfera se mide en Unidades Dobson (UD), equivalentes a un espesor de 0,01 mm de O₃ puro a la densidad normal (1 atm y 0 °C). La cantidad media de O₃ en la atmósfera es de 350 UD, es decir, lo equivalente a un espesor de 3,5 mm de ozono puro en condiciones normales. Por eso la analogía geométrica con una pantalla o una lámina es más acertada que con una capa.

RESTAURACIÓN AERONÁUTICA DE LA CAPA DE OZONO

En la estratosfera la temperatura aumenta con la altitud, hasta alcanzar unos 0 °C en su límite superior, y dentro de ella los movimientos verticales son poco importantes (por eso los aviones comerciales suelen volar en esta zona) pero no así los horizontales, que pueden llegar hasta los 200 km/h, lo que por tanto puede favorecer la difusión –y también la dilución- de un posible contaminante o de cualquier gas que se libere o genere en la estratosfera.

2ª.- CRONOLOGÍA DE LA CONCIENCIA MUNDIAL RESPECTO AL OZONO

En 1976 se publica el primer informe científico que aporta evidencia de la disminución del ozono estratosférico; investigaciones posteriores identifican la causa y procesos involucrados en esa disminución, firmándose en 1985 por los principales países productores de CFCs la **Convención de Viena para la Protección de la Capa de Ozono.**

En 1987 se firma, como estrategia fundamental contra la reducción de la capa de ozono, el **Tratado de Montreal**, que ante la evidencia y gravedad de los hechos y la presión mundial se ve elevado y ratificado a nivel mundial en 1990 por el **Tratado de Copenhague**, en el que los países se comprometen a eliminar totalmente el uso de CFC en 1996.

Afortunadamente, debido a las medidas adoptadas como consecuencia de estos últimos Tratados, parece que estamos en el camino de frenar la destrucción acelerada del ozono e ir revirtiendo a los márgenes deseables de su concentración, para su eficaz acción protectora frente a la radiación UVB y UVC (UV de onda media y corta, respectivamente).

3ª.- FÍSICOQUÍMICA DEL OZONO Y SU PROCESO DE CREACIÓN-DESTRUCCIÓN

El ozono tiene una densidad absoluta de 2,144 g/l y una densidad relativa al aire de 1,658; el oxígeno tiene, respectivamente: 1,429 g/l y 1,105. En definitiva, el ozono pesa un 50% más que el oxígeno y, en el aire, tiende a descender. No obstante, su corta vida impide que varíe mucho su cota.

El ozono se crea y se destruye en la estratosfera conforme a un interesante y complejo ciclo de reacciones químicas no catalíticas del oxígeno (molecular, atómico y alotrópico) en las que intervienen ondas electromagnéticas del espectro UV, aunque no exclusivamente. La vida media de una molécula de ozono a 30 km de altura es de media hora.

Este ciclo natural de génesis y destrucción atmosférica del ozono se llama **Ciclo de Chapman** (1930) y puede leerse en cualquier tratado sobre química estratosférica y capa de ozono.

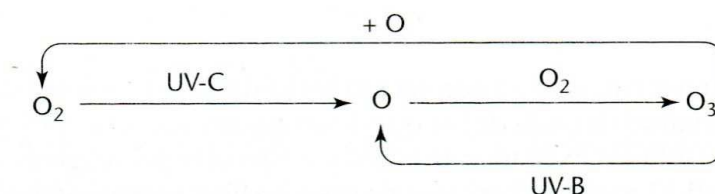


Figura 2. Ciclo de Chapman: reacciones **no catalíticas** de destrucción y producción de ozono

RESTAURACIÓN AERONÁUTICA DE LA CAPA DE OZONO

Pese a la buena noticia de haberse frenado la producción de CFCs y con ello el crecimiento del agujero del ozono antártico (principal pero no único en la atmósfera), la constatación de que los CFCs son estables durante décadas y que tardan años en ascender lentamente a la estratosfera hace previsible que el efecto *ozonocida* de los CFC (producidos hasta finales del siglo XX y liberados - aunque fuera sólo accidentalmente- hasta principios del XXI) se prolongue hasta al menos 2050.

Al cloro y al bromo se suma ahora, recién descubierto, el poder catalítico también destructivo -aunque menor- del yodo, que afortunadamente está menos presente en la estratosfera y tiene una vida activa más corta que los otros dos halógenos.

4ª.- OZONIZACIÓN Y OZONIZADORES INDUSTRIALES

La ozonización del oxígeno atmosférico se obtiene principalmente mediante un proceso físico denominado **efecto corona**, consistente en excitar energéticamente las moléculas de oxígeno, ionizándolas el campo eléctrico que rodea un conductor cargado. Ocurre espontáneamente en las líneas de alta tensión y se manifiesta en forma de halo luminoso (por el mismo efecto que en las lámparas de descarga).

Hay ozonizadores comerciales disponibles en el mercado, incluso para uso doméstico, y por tomar una referencia y que el lector se haga una idea, imagínese una caja metálica de unos 34 x 23 x 14 cm y 3,5 kg (cañón *ASP Pro*) que consume 150 W, o una especie de cañón ventilador de unos 30 cm de diámetro, 50 cm de longitud y 5 kg de peso (*King Ozono Steril*), capaces de impulsar respectivamente entre 200 a 8.000 m³/h, producir **7-10 g O₃/h** y un coste que oscila bastante: desde unos cientos de € hasta casi 2.000 €.

La vida útil de la placa eléctrica del primero está especificada en 6.000 h y en 6 meses el segundo, tras las cuales debe limpiarse, y no cambiarse ni desecharse.

En esta comunicación no vamos a entrar en más análisis comercial y de producto, para no alejarnos del objetivo de la misma.



Figura 3. Cortesía de Uvonair

(mod. CD1200 US-3 coronas 5,8 g O₃/h 1359 m³/h; 300 mm) 1.340,99 €



Figura 4. Cortesía de Todozono

(mod. Duc 500 coronas 500 m³ 25 W 359 x 180 x 120 mm) 228 €

5ª.- AVIACIÓN COMERCIAL EN EL MUNDO

La mayoría de aviones vuelan a una altitud entre 10.000 y 12.000 m, por razones de eficiencia energética y seguridad civil -tanto de los pasajeros como de los habitantes terrestres-, lo cual viene a coincidir con la *tropopausa*: el inicio de la estratosfera.



Cortesía de <https://pixabay.com/users/ThePixelman-406384/>ThePixelman en Pixabay

No es fácil obtener cifras globales promedio del número de aviones que estén surcando la estratosfera diariamente, aunque sí del número de vuelos, su duración, rutas y pasajeros, de manera que tan sólo daremos algunas cifras, para luego utilizar las que parezcan más conservadoras:

Según cifras de 2014 de **www.flightradar24.com** hubo unos 450.000 vuelos/año sólo en el Atlántico Norte, con una duración media de vuelo de 4 horas. Hay 1.300 líneas aéreas, que vuelan casi 32.000 aviones en 45.000 rutas y entre 3.800 aeropuertos.

Consumieron 340.000 millones de litros de combustible en 2017 y registraron un pico en 2018 de 120.000 vuelos diarios, transportando a 12 millones de pasajeros. En agosto de 2018 se alcanzaron picos de más de 19.000 aviones registrados volando al mismo tiempo.

Si la aviación comercial fuera un país sería la 20ª economía del mundo, similar a Suiza o Argentina.

Otra fuente cita que el 5 de agosto de 2016 fue el pico máximo de aviones volando al mismo tiempo: 9.728; y el mínimo, el 1 de enero de 2017, sólo llegaron a volar a la vez 3.354 aviones. Tomemos 5.000 como un promedio de cálculo para más adelante.

5. Metodología:

Aplicando unos sencillos cálculos geométricos del tamaño de la estratosfera, combinados con los datos antes mostrados del número de vuelos comerciales en el mundo y cifras de producción de ozono de ozonizadores comerciales, se llegará a una cifra de "restitución aeronáutica de la capa de ozono", la cual se compara con la del ozono destruido durante la era industrial (o "agujero en la capa de ozono") y se obtendrá una conclusión o resultado a discutir.

A continuación esos **cálculos previos** (que otras personas con más tiempo, recursos intelectuales y materiales) podrían investigar y, en caso positivo, desarrollar el proceso y producto que aquí sólo se apunta, lleno de condicionantes y “lagunas” técnicas y científicas que no puedo salvar ni quiero retrasar, y puedan soslayarlas a partir de mi propuesta:

La proporción del oxígeno en el aire atmosférico (**21%**, frente al 78% de nitrógeno y 1% otros gases) se mantiene constante en los primeros 100 km de atmósfera; sin embargo al disminuir la presión con la altitud tenemos menos moléculas de aire por volumen: menos concentración de cualquiera de los gases constituyentes, aunque en proporción se mantengan igual que en la biosfera. A unos 10.000 m de altitud la presión atmosférica es de unos 25 kPa (comparados con los 100 kPa a nivel del mar). Por tanto, sería de esperar un rendimiento de los ozonizadores del 25% del que tienen en la superficie terrestre, sin contar con otras variables como la Tª de funcionamiento, al tomar aire a -40/50 °C en vez de 15-20 °C.

Si cada avión comercial llevara cuatro ozonizadores del tipo descrito, capaces de producir el 25% de su rendimiento nominal (10 g O₃/h), los 5.000 aviones que están permanentemente surcando la estratosfera podrían producir:

$$5.000 \times 4 \times 0,25 \times 10 \text{ g O}_3/\text{h} = \mathbf{50.000 \text{ g de O}_3 / \text{h} = 50 \text{ kg de O}_3/\text{h}}$$

Y a continuación unas hipótesis simplificadoras y cálculos aproximativos de geoingeniería:

- Si todo el ozono existente en la estratosfera es equivalente como hemos visto en la primera página, a 350 Uds. Dobson: una lámina de 3,5 mm de O₃ puro en condiciones normales (CN: 0 °C y 1 atm),

- Si suponemos dicha capa situada idealmente en la altitud donde está la máxima concentración de O₃ –a unos 25 km s.n.m.–, el volumen de esa lámina sería el de la “cáscara” de una esfera, de radio 6.396 km y espesor 3,5 mm; resultado de sumar al radio medio terrestre (6.371 km) los 25 km de altitud de la lámina de ozono, y así calcular el volumen de esa lámina:

$$4/3 \pi (R+3,5 \text{ mm})^3 - 4/3 \pi R^3 = 4/3 \pi (6.396.000,0035^3 - 6.396.000^3) \text{ m}^3 = \\ 1,79926370236178 \times 10^{12} \text{ m}^3 (1,8 \text{ billones de m}^3)$$

O con otra fórmula alternativa, más evidente:

$$4 \pi R^2 \times e = 4 \pi (6.396.000)^2 \times 0,0035 = 1,8 \text{ billones de m}^3$$

Siendo 2,144 kg/m³ o g/l la densidad normal del O₃, esa capa tendría 3,86 × 10¹² kg (casi 4 billones de kg de O₃ en CN)

Esta sería aproximadamente la CANTIDAD DE OZONO ESTRATOSFÉRICO TOTAL, en circunstancias normales y deseables -sin agujeros en la capa de ozono-, que deberíamos intentar mantener en nuestra atmósfera más o menos uniformemente, tanto en el tiempo como en el espacio circundante alrededor de la biosfera.

6. Resultados:

La pregunta y el cálculo inevitable a continuación es:

¿Cuánto tiempo tendrían que estar produciendo ozono los aviones comerciales para compensar el deterioro de la capa de ozono?

Para ello debemos cuantificar el “agujero” de ozono que se quisiera reparar, pongamos que es un 10% de esa cantidad atmosférica total de ozono: $3,86 \times 10^{12} \text{ kg} \times 10\% = 3,86 \times 10^{11} \text{ kg O}_3$, que a razón de los **50 kg de O₃/h** que hipotéticamente producen esos 5.000 aviones en vuelo estratosférico permanente, necesitarían $8 \times 10^9 \text{ h}$, que equivalen a ¡¡¡**881.278 años!!!**

Parece evidente que ni siquiera equipando los aviones con generadores de ozono que multiplicaran por 10 la hipótesis de cálculo (de 4 ozonizadores por aeronave a 40), se alcanzaría un objetivo de reparación de la capa de ozono en tiempo y cantidad asumibles.

7. Discusión: Cuestiones abiertas para su investigación y desarrollo posterior

- ¿Hay alguna posibilidad tecnológica de implementar en/con los aviones efectos corona de producción de ozono a escala masiva?
- ¿Sería suficiente la altitud de crucero de los aviones comerciales para producir y verter ahí el ozono generado?; ¿La física del ozono y de la atmósfera a esos 10-12.000 m sería favorable para regenerar y enriquecer la capa de ozono, o sería inútil por su corta vida o alguna otra razón?
- ¿Ayudarían las corrientes atmosféricas a difundir y homogenizar la concentración de ozono en la estratosfera, o debería limitarse la regeneración aeronáutica de ozono a los vuelos dentro de los círculos polares?
- ¿Es tan relevante que los debilitamientos de la capa de ozono se produzcan en las zonas polares –de mucha menor radiación solar- que la posibilidad, aún no acaecida y menos probable por la dinámica atmosférica, de que se produzcan los debilitamientos en la franja tropical y en las franjas entre trópicos y casquetes polares?
- ¿En qué parte de las aeronaves debería estar y cómo debería ser el emisario de ozono al exterior para no verse afectado por los gases de escape del avión?
- ¿Cómo y de dónde tendría que ser la toma de aire que alimente al ozonizador, para un funcionamiento adecuado de éste sin afectar a la navegación ni a la bodega ni a la cabina de la aeronave?

8. Conclusiones:

Una vez más parece evidenciarse que, si bien la tecnología puede ayudar –a veces mucho- a solucionar problemas sociales y ambientales, es más eficaz el impacto que en dichos problemas puede hacer un cambio social: nada sorprendente, pues han sido los cambios sociales los que nos han traído hasta aquí, tanto en lo positivo (desarrollo) como en lo negativo (contaminación y deterioro ambiental).

Viene publicándose en los últimos tiempos que la reducción de la capa de ozono se ha frenado y parece estar recuperándose desde el cambio de siglo, gracias al freno en la producción y consumo de los gases *ozonocidas* (CFC's, etc.). Sin duda es mucho más el impacto de cientos o miles de millones de habitantes dejando de colaborar en destruir –en este caso la capa de ozono- que miles o cientos de miles de aeronaves “chemtrailing” ozono a lo largo de sus recorridos estratosféricos.

9. Referencias y bibliografía

Álvarez, Felipe; Martín, Juan Fco. y Contreras, Lucas (15 mayo 2013). **Blog sobre la capa de ozono.**

<http://difundecambioglobal.blogspot.com/2013/05/ozono-estratosferico-limite-planetario.html>

Alonso, J. F. (24 marzo 2015). **Cuántos aviones vuelan cada día en el mundo.**

<https://abcblogs.abc.es/proxima-estacion/otros-temas/viajar-aviones-diarios-mundo.html>

LIFE AIR TRAFFIC. Datos de navegación aérea (marzo 2015). www.flightradar24.com