

Acerca de la interacción Sol-Tierra

Por Bernd FUNKE (IAA-CSIC)

El instrumento espacial que me guió como hilo conductor a lo largo de mi trayectoria científica fue, sin duda alguna, el *Michelson Interferometer for Passive Atmospheric Sounding*, o MIPAS en breve. Un espectrómetro infrarrojo de alta resolución espectral que mide las emisiones térmicas de la atmósfera terrestre en el limbo y permite la obtención de perfiles verticales de temperatura y concentraciones de un gran número de compuestos químicos mediante métodos de inversión. Ideal para el estudio de la estratosfera terrestre, un *trending topic* a finales de los 80 cuando MIPAS fue propuesto como instrumento principal de la misión ENVISAT de la ESA, solo pocos años después del descubrimiento del agujero de ozono provocado por los CFCs de origen humano.

Me tropecé con MIPAS durante mis años predoctorales, muchos años antes de su lanzamiento, involucrándome en el desarrollo de métodos de inversión. Realicé mi tesis doctoral sobre la inversión del óxido nítrico (NO), un compuesto clave para la química de la estratosfera debido a su capacidad de destruir eficientemente el ozono mediante reacciones catalíticas. Desgraciadamente, el óxido nítrico es un compuesto muy difícil de observar, debido a que sus débiles emisiones están también afectadas por el no-equilibrio termodinámico local y tiene una distribución altamente inhomogénea en la atmósfera.

ENVISAT, también llamado el "ómnibus espacial" por su enorme tamaño, fue finalmente lanzado en marzo del 2002. Algo tarde para el estudio de las causas del agujero del ozono pues, como sabemos hoy día, para entonces el ozono ya estaba en pleno proceso de recuperación. Sin embargo, las impresionantes observaciones de MIPAS obtenidas durante los diez años siguientes nos han permitido avanzar significativamente en muchos temas claves de la investigación de la atmósfera media, mas allá del agujero del ozono, y también nos han dejado algunas sorpresas.

Una de estas sorpresas ocurrió en el 2004, cuando estábamos analizando los datos del óxido nítrico obtenidos el año anterior. Aún no nos fiábamos mucho de nuestros resultados debido a las dificultades de invertir los perfiles de este compuesto cuando observamos aumentos de varios órdenes de magnitud de su concentración en la mesosfera y alta estratosfera polar durante el invierno austral. Aumentos similares los detectamos en los dos hemisferios a finales de octubre. ¿Artefacto observacional o realidad? Sabíamos por algunos estudios anteriores que semejantes aumentos podrían producirse por el impacto de protones energéticos solares que, guiados por el campo magnético terrestre, precipitan sobre la atmósfera polar, aumentan su ionización y generan compuestos químicos reactivos.

Una nueva interacción

Efectivamente, el 31 de octubre 2003 se produjo una tormenta solar de elevada magnitud. Recibió, por la fecha en que ocurrió, el nombre de Tormenta de Halloween y podía ser la clave para explicar nuestros resultados. Pero, ¿y los aumentos del óxido de nitrógeno a lo largo del invierno austral? Bueno, también se podían explicar por las partículas energéticas pero, en este caso, por electrones que, "atrapados" en la magnetosfera, logran escapar y precipitar sobre la

termosfera polar (entre 95 y 110 kilómetros) al ser perturbados por el viento solar. El óxido nítrico producido a estas alturas se transporta hacia la estratosfera pero solo durante el invierno polar, cuando la circulación meridional va dirigida hacia los polos y hacia abajo, y la oscuridad de la noche polar evita su destrucción fotoquímica. Después de varios meses de meticulosas comprobaciones finalmente nos fiamos de nuestros resultados y pudimos publicar por primera vez un análisis global y cuantitativo de los efectos de una tormenta solar, así como de la precipitación de electrones magnetosféricos sobre nuestra atmósfera.



Hoy día, tras analizar una década de observaciones de MIPAS, sabemos mucho más: los aumentos del óxido nítrico debido a la precipitación de electrones magnetosféricos ocurren en cada invierno polar en los dos hemisferios, contribuyendo en hasta un 10% al nitrógeno reactivo disponible en la atmósfera terrestre. Y también sabemos que dejan su huella en el ozono estratosférico reduciendo su concentración en hasta un 30%. Estos efectos varían sustancialmente a lo largo del ciclo solar. Aproximadamente cada once años, unos dos o tres años después del máximo de las manchas solares, el viento solar aumenta debido a la intensificación de los agujeros coronales, y da lugar a grandes perturbaciones magnetosféricas y a la precipitación de electrones. También hemos observado los efectos de otras tormentas solares aunque de menor intensidad. Así, tras la variabilidad de la radiación solar, las partículas energéticas representan una nueva interacción Sol-Tierra! Algunas simulaciones de modelos climáticos sugieren incluso un efecto notable sobre el clima (al menos a nivel regional) aunque aún es pronto para sacar conclusiones definitivas. Hace poco ha comenzado una nueva fase del proyecto internacional de intercomparación de modelos climáticos (CMIP6), cuyo objetivo es contribuir al Sexto Informe de Evaluación (AR6) del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC), previsto para el año 2021. En esta fase, los modelos climáticos van a considerar por primera vez los efectos de las partículas energéticas. ¡Pronto sabremos si esta nueva interacción Sol-Tierra afecta realmente al clima! ¿Y MIPAS? Han pasado ya cinco años desde que se perdió el control de ENVISAT debido a un fallo de comunicación. El ómnibus espacial sigue orbitando (menos mal) y tal vez MIPAS sigue tomando medidas que nunca se conocerán... Sin embargo, MIPAS nos ha proporcionado varios millones de perfiles de temperatura y concentraciones de compuestos minoritarios de la atmósfera y tan solo una parte de esta valiosa base de datos está explotado científicamente. Aún quedan muchos años de análisis de datos y trabajo científico. ¿Quizás allí se esconda un nuevo Moby Dick?

Bernd FUNKE (IAA-CSIC)
Este artículo aparece en el número 52, julio 2017,
de la revista Información y Actualidad Astronómica,
del Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC)