

•Milagros Couchoud Gregori

Doctora en Ciencias Físicas y ex-directora General del Instituto Nacional de Meteorología



DETECCIÓN Y MEDIDA DE NIVELES DE CO₂ EN LA ATMÓSFERA. PRINCIPALES CONSECUENCIAS

Desde que en 1938 se recogieran los primeros indicios de que la Tierra estaba experimentando un incremento de CO₂, muchas son las investigaciones que se han llevado a cabo y numerosos los avances técnicos en los sistemas de medición. Hoy, es posible medir con gran precisión y de forma continuada las concentraciones de este gas en la atmósfera, y asegurar sin lugar a equívoco que los niveles de CO₂ aumentan año tras año.

El dióxido de carbono (CO₂) es un gas incoloro e inodoro que en la actualidad es emitido a la atmósfera, principalmente, por la quema de combustibles fósiles. Este gas, el segundo radiativamente activo más importante detrás del vapor de agua troposférico, es eliminado de la atmósfera mediante “sumideros” naturales como los océanos y las plantas.

Svante Arrhenius (1859-1927) fue el primer científico que determinó la importancia potencial del dióxido de carbono (CO₂) en el clima. Ya en 1886 propuso que la temperatura de la Tierra era controlada por las propiedades radiativas del CO₂ (y el vapor de agua), afirmando que las eras glaciales se producían cuando las concentraciones de CO₂ eran menores debido a

procesos desconocidos. Aunque por entonces no se había detectado incrementos de la concentración de CO₂, Arrhenius propuso que la continua combustión de carbón podría incrementar la concentración de este gas, calentando así la Tierra. Sin embargo no fue hasta 1938 cuando George Callendar obtuvo la primera evidencia del incremento de CO₂ en ⇒

Los niveles de CO₂ en la atmósfera se han incrementado notablemente en las últimas décadas

la atmósfera. Dos décadas más tarde, en 1957, Charles Keeling inicia un proyecto de medida continua y precisa del CO₂ atmosférico, germen de la actual red de vigilancia de este gas a nivel mundial. Los datos de Keeling obtenidos a partir de 1958 en la estación de Mauna-Loa (Hawaii) demostrarían de forma inequívoca el inexorable incremento de CO₂.

Detección y análisis del CO₂ en la atmósfera.

Medir CO₂ en la atmósfera no es trivial, y menos si lo que se pretende es determinar tendencias de este gas a nivel mundial de forma precisa. El Programa de Vigilancia Atmosférica Global (VAG; www.wmo.ch/web/arep/gaw/gaw_home.html) de la Organización Meteorológica Mundial (OMM) coordina las actividades técnico-científicas que en última instancia establecen los programas de medida de este gas en cada uno de los países que poseen estaciones y laboratorios de observación. Para ello el programa VAG de la OMM celebra, de forma periódica, congresos sobre técnicas de medidas de CO₂ en la atmósfera y publica guías técnicas donde se recogen los últimos avances en procedimientos analíticos, sistemas de calibración y metodologías de depuración y evaluación de datos, así como las técnicas estadísticas más adecuadas para el análisis de las series temporales.

La primera dificultad para el establecimiento de programas continuos de medidas de CO₂ reside en encontrar lugares adecuados para

las medidas, ya que éstas deben ser representativas de los cambios que se están produciendo en la atmósfera a nivel global, es decir, lugares no afectados de forma directa por focos de contaminación locales o regionales. La segunda dificultad se encuentra en la necesidad de que estos emplazamientos dispongan de una infraestructura técnica y científica mínima, así como de los

Análisis NDIR (“Non-Dispersive Infrared”). Un analizador NDIR se basa en el mismo principio de absorción de la radiación infrarroja (IR) que hace que los gases de efecto invernadero jueguen un papel protagonista. Un analizador NDIR consiste en una fuente IR en un extremo y un detector IR en el otro separados por una cámara donde se introduce un gas. El gas

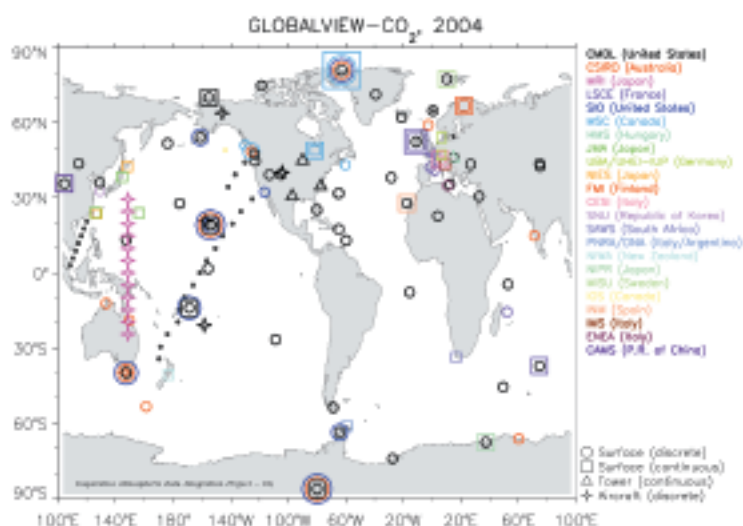


Figura 1. Red mundial de estaciones donde se mide CO₂. Las estaciones marcadas con un cuadrado realizan medidas continuas.

recursos humanos necesarios que aseguren la continuidad de las medidas y la evaluación de las mismas durante décadas. Por último, estos programas suponen una financiación continuada nada desdeñable ya que su fiabilidad se basa en disponer de un complejo sistema jerárquico de calibraciones hasta llegar a las referencias internacionales.

La técnica recomendada para medir CO₂ en la atmósfera es la de

en cuestión absorbe parte de la radiación IR que procede de la fuente, y el detector de IR convierte en voltaje la dosis de radiación infrarroja que le llega. De esta manera si la concentración de CO₂ presente en la muestra de gas (aire ambiente, por ejemplo) varía, la señal en el detector también cambia. Haciendo circular un gas con una concentración de CO₂ conocida, se puede calibrar el analizador de tal manera que el voltaje de salida del detector se puede con-

Océanos y bosques absorben la mitad de nuestras emisiones, el resto permanece en la atmósfera durante siglos

vertir directamente en concentraciones de CO₂. Aunque el principio físico es tremendamente simple, la metodología experimental se complica enormemente debido a falta de linealidad del detector, al ruido ocasionado por la absorción de IR por parte del vapor de agua atmosférico (importante absorbente de IR, y tremenda-

mente variable), a la incertidumbre en las concentraciones de CO₂ de los gases de referencia debido a derivas en los cilindros, etc.

Para poder minimizar todos estos problemas, las estaciones que miden de forma continua CO₂ (proporcionando valores promedios cada 10 ó 30 minutos), realizan calibraciones automáticas cada 3 horas, en las que se utilizan tres gases de trabajo con concentraciones de CO₂ inferiores, similares y superiores a las que existen en ese momento en el aire ambiente. Estos gases de trabajo son calibrados frente a gases de referencia secundarios cada dos semanas, y a su vez éstos son calibrados frente a los primarios cada cuatro meses. Las

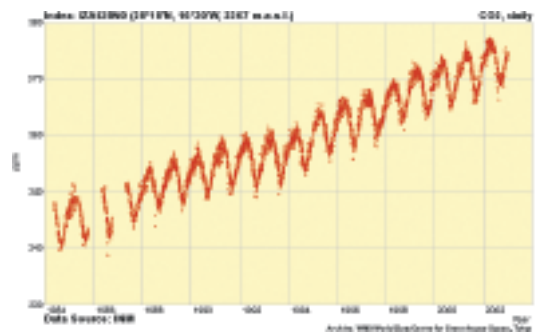
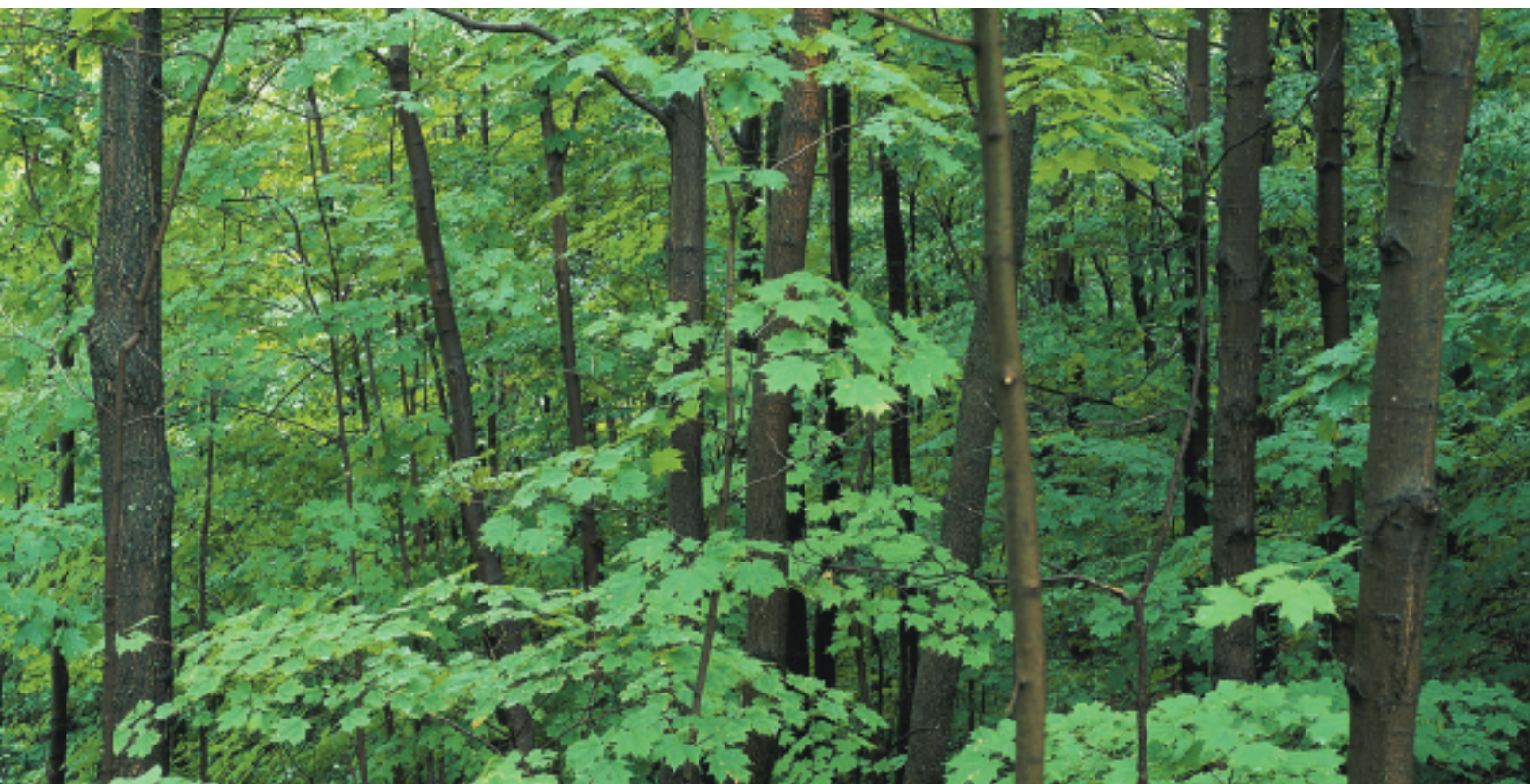


Figura 2. Serie de dióxido de carbono del Observatorio de Izaña (Tenerife, 28° 18' N, 16° 30' W, 2367 m s.n.m.).

correcciones de posibles derivas en las concentraciones de los gases de referencia son “arrastradas” hasta aplicarse a las concentraciones de CO₂ en aire. El objetivo hoy día es poder medir concentraciones de CO₂ con un error menor a 0.1 ppm (partes por millón).

Debido a la complejidad del programa de medidas y a los elevados costes económicos que supone, sólo ⇒



⇒ El CO₂ es eliminado de la atmósfera mediante “sumideros” naturales como los océanos y los bosques

Los programas de observación y vigilancia contribuirán a supervisar el cumplimiento de los acuerdos alcanzados en Kioto

dieciocho estaciones en todo el mundo disponen hoy día de un programa continuo de medidas de CO₂. Una de estas estaciones está situada en el observatorio de Izaña (Tenerife), gestionada por el Instituto Nacional de Meteorología. Las medidas de CO₂ se iniciaron en este Observatorio en mayo de 1984 y continúan hasta la fecha de forma ininterrumpida.

Los programas de medida de CO₂ consumen un tiempo considerable y realizan un esfuerzo económico significativo en actividades de control de calidad, y en acciones que aseguren la intercomparabilidad de las medidas realizadas en las diferentes estaciones. Para ello en todas las estaciones del mundo

se utilizan los mismos gases de referencia primarios (generalmente un conjunto de 10 cilindros con aire natural conteniendo diferentes concentraciones de CO₂) elaborados y suministrados por el “Climate Monitoring and Diagnostics Laboratory” (CMDL) de la “National Oceanic and Atmospheric Administration”: NOAA (www.cmdl.noaa.gov/ccgg/refgases/stdgases.html). Además, y de forma periódica esta misma institución organiza junto con el Programa VAG-OMM lo que se conocen como “CO₂ Round-Robin Referente Gas Intercomparisons” (http://gaw.kishou.go.jp/wcc/co2/co2_scale.html), que son ejercicios de intercomparación en que dos cilindros conteniendo concentra-

ciones de CO₂ sólo conocidas por la institución que ejerce de árbitro, circulan por los diferentes laboratorios participantes que deben determinar las concentraciones incógnita.

Con el fin de complementar la valiosa, pero espacialmente limitada, contribución de las estaciones que miden de forma continua CO₂, la NOAA-CMDL ha establecido una red de medidas de CO₂ semanales mediante matraces de cobertura mundial (“NOAA - CMDL - CCGG Cooperative Air Sampling Network”). En esta red se toman muestras de aire, bajo determinadas condiciones, en estaciones seleccionadas en todo el mundo, enviando los matraces al Grupo de Gases de ⇒



→ La estación de Izaña (Tenerife) es una de las 18 instalaciones en el mundo que recoge medidas continuas de CO₂



Efecto Invernadero del Ciclo del Carbono de la NOAA - CMDL (www.cmdl.noaa.gov/ccgg/flask.html), en Boulder-Colorado, donde son analizadas utilizando la misma técnica que en las estaciones de medidas continuas (técnica NDIR). El Observatorio de Izaña participa también en esta red de matraces. En la *Figura 1* se muestran las estaciones que proporcionan concentraciones de CO₂, ya sean de forma continua, con programas semanales, o con medidas esporádicas.

La información de estas redes es periódicamente enviada al "World Data Centre for Greenhouse Gases" (<http://gaw.kishou.go.jp/wmo/wmowdcgg.php>), que fue establecido en la Agencia Meteorológica de Japón en Octubre de 1990. Este Centro concentra y distribuye datos sobre concentración de gases de efecto invernadero (CO₂, CH₄, CFCs, N₂O, etc.) y gases reactivos relacionados (O₃, CO, NO_x, SO₂, VOC, etc.) tanto en la atmósfera como en el océano. El Observatorio

de Izaña, con indicativo IZA128Noo, deposita en este Centro los datos de CO₂ que va midiendo y procesando desde 1984. Existe otra Base de Datos Mundial de CO₂, basada en la mencionada red de medidas mediante matraces de la NOAA - CMDL. A esta base de datos se puede acceder a través de la aplicación "Interactive Atmospheric Data Visualization" (www.cmdl.noaa.gov/ccgg/iadv/).

Resultados: aumento del ritmo de crecimiento del CO₂

En la *Figura 2* se muestra la serie de CO₂ obtenida en el Observatorio de Izaña (Tenerife) a partir de 1984. Esta serie muestra una variación estacional, causada por el ciclo fotosintético de las plantas en el hemisferio norte, con un máximo en mayo y un mínimo en septiembre, con una amplitud pico a pico de unas 7,8 ppm.

El análisis de la serie muestra una tendencia positiva inicial de 1,4 ppm/año que ha ido incrementándose en los últimos años hasta alcanzar las 2,2 ppm/año. Estos resultados concuerdan con las del resto de las estaciones, y son corroboradas por el programa de medidas con matraces.

Con el fin de comprender mejor a nivel mundial las tendencias en las concentraciones de CO₂, se ha creado GLOBALVIEW (www.cmdl.noaa.gov/ccgg/globalview/). Se trata de un proyecto de la NOAA-CMDL cuyo principal objetivo es el de aumentar la distribución espacial y temporal de las observaciones de CO₂ y CH₄ a nivel global. Este sistema utiliza series temporales suavizadas y sincronizadas de las estaciones de tierra que miden tanto con programas continuos como con programas de muestreo semanal con matraces, así como con las observaciones



realizadas desde barcos, aviones y torres de observación.

Conclusiones

Las medidas, enormemente precisas, que se realizan hoy día de las concentraciones de CO₂ atmosférico con las redes de observación antes descritas, han confirmado que el ritmo de crecimiento de las concentraciones de este gas se está incrementando de manera notable en las últimas décadas, y este incremento es consecuencia directa de las actividades humanas ya que no puede explicarse por causas naturales. Para el año 2001 la concentración promedio de CO₂ a nivel mundial se estimaba en 375 ppm. Si consideramos como valor de la masa de la atmósfera $5,137 \times 10^8$ kilogramos, esto supone que sólo el CO₂ contribuye con 800 Giga-toneladas de carbono a la atmósfera, una diferencia de 260 Giga-toneladas de carbono respecto a la época pre-industrial. Las actividades humanas suponen la emisión de siete mil millones de toneladas de carbono a la atmósfera al año, lo cual representa solamente entre

un 3% y un 4% de la cantidad de carbono intercambiada de forma natural, pero esta cantidad es suficiente para desestabilizar el equilibrio natural. Los océanos, bosques y selvas absorben alrededor de la mitad de nuestras emisiones y la otra mitad permanece en la atmósfera durante siglos. Esta es la causa de que se origine un rápido crecimiento de CO₂ en la atmósfera y por consiguiente una intensificación del efecto invernadero que existe de forma natural. En la actualidad las concentraciones de CO₂ son las más altas jamás “observadas” en los últimos 450.000 años. Si el ritmo de crecimiento actual de la concentración de CO₂ continúa en el futuro, en menos de 60 años habremos duplicado la concentración existente en la época pre-industrial.

Una prioridad de los programas de medida de CO₂ es la de permitir la estimación de fuentes y sumideros de este gas, y conocer sus variaciones espacio-temporales. Una segunda prioridad consiste en colaborar en estudios de procesos interdisciplinarios. En este marco se

espera una más estrecha interacción de estos programas de medida del CO₂ con el “Joint Global Ocean Flux Study” (JGOFS), y el “World Ocean Circulation experiment” (WCRP/WOCE), así como con varios programas del internacional “Geosphere - Biosphere Programme” (IGBP) y el Internacional “Atmospheric Chemistry Programme” (IGAC).

Actualmente se está estableciendo una estrategia común con la Agencia Internacional de la Energía Atómica para establecer nuevos programas de medida y de control de calidad sobre isótopos de CO₂ en la atmósfera. Este nuevo programa espera poder resolver las incógnitas actuales sobre determinadas fuentes y sumideros de CO₂.

En cualquier caso estos programas de observación y vigilancia del CO₂, coordinados por el Programa VAG de la OMM, contribuirán de manera decisiva en las próximas décadas a los trabajos de supervisión del cumplimiento de los acuerdos alcanzados en el Convenio Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y el Protocolo de Kioto. ■