

# Sistema mundial integrado de información sobre los gases de efecto invernadero

por Phil DeCola<sup>1</sup> y la Secretaría de la OMM<sup>2</sup>

Las mediciones de la composición atmosférica en la segunda mitad del siglo XX mostraron unas concentraciones globales crecientes de gases de efecto invernadero. Estas mediciones fueron la causa inicial de la preocupación por el calentamiento global y el cambio climático. Hoy en día, con las naciones comprometidas para reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), las mediciones de la concentración de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y otros GEI determinarán de forma inequívoca si las acciones tomadas están teniendo el efecto deseado. En consecuencia, la OMM ha iniciado el desarrollo de un Sistema mundial integrado de información sobre los gases de efecto invernadero (el Sistema) para ayudar a dirigir acciones valiosas de reducción de emisiones de GEI en respuesta al cambio climático. Este nuevo Sistema establecerá y reforzará la confianza en el papel de las mediciones de la composición atmosférica como parte esencial de los esfuerzos de mitigación del cambio climático. Este artículo discute la necesidad y el desarrollo de las mediciones de composición atmosférica y la labor del citado Sistema.

## El cambio climático, un asunto global

En 1992, los participantes en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (la “Cumbre para la Tierra” que tuvo lugar en Río) aprobaron la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), un tratado internacional dirigido a combatir el cambio climático. El objetivo último de la Convención es lograr la estabilización de las concentraciones de GEI “a un nivel que impida interferencias antrópicas (provocadas por el hombre) peligrosas en el sistema climático”. Además, establece que “ese nivel debería alcanzarse en un plazo

suficiente para permitir que los ecosistemas se adapten naturalmente al cambio climático, para asegurar que la producción de alimentos no se vea amenazada y para posibilitar que el desarrollo económico prosiga de manera sostenible”. Actualmente hay 197 Partes en la Convención. Pero, ¿cuáles fueron la motivación y el fundamento para esta impresionante acción a nivel mundial?

La CMNUCC se estableció sobre unos cimientos de evidencia y conocimiento científicos, conformados sobre todo por largas series de observación de la composición química de la atmósfera terrestre y su cambio en el tiempo. Mediciones coherentes y precisas que muestran concentraciones de GEI, como el dióxido de carbono, en rápido aumento. Estas mediciones también atribuyen de forma inequívoca dicho aumento a las actividades humanas y vinculan las concentraciones crecientes de GEI con el calentamiento global y con impactos negativos para el clima<sup>3</sup>.

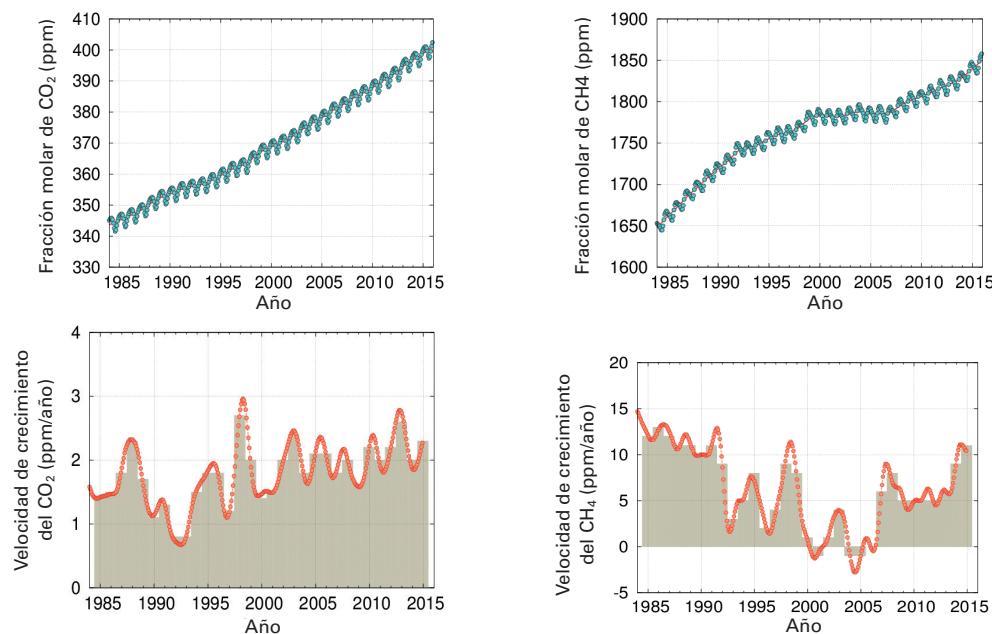
Desde la Revolución Industrial (o energética) del siglo XVIII, las actividades humanas han causado un crecimiento constante de las concentraciones de GEI como el  $\text{CO}_2$ , el metano ( $\text{CH}_4$ ) y el óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), y las temperaturas medias mundiales han aumentado como respuesta. Las concentraciones de  $\text{CO}_2$  se han incrementado en más del 40% respecto a los niveles preindustriales y continúan haciéndolo a un ritmo creciente. Son ahora las más elevadas en, al menos, unos cuatro millones de años, cuando las temperaturas medias mundiales eran 2 o 3 °C más altas que en el siglo XIX y el nivel del mar estaba entre 7 y 25 metros por encima del de hoy en día<sup>4</sup>. Los niveles actuales de  $\text{CH}_4$  multiplican por

<sup>3</sup> IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Core Writing Team, R. K. Pachauri y L. A. Meyer, eds.). IPCC, Geneva, 151 págs.

<sup>4</sup> Salawitch y otros, 2017: Paris Agreement: Beacon of Hope, ISBN DOI 978-3-319-46939-3, Springer Climate.

<sup>1</sup> Corporación Sigma Space y Departamento de Ciencias Atmosféricas y Oceánicas, Universidad de Maryland

<sup>2</sup> Oksana Tarasova, jefa de la División de Investigación sobre el Medioambiente Atmosférico



*Fracciones molares superficiales de dióxido de carbono y metano promediadas globalmente y sus tasas de crecimiento calculadas a partir de la red in situ del Programa de la VAG.*

dos y medio el valor preindustrial y, tras varios años de estabilidad, las concentraciones de CH<sub>4</sub> están aumentando de nuevo. Como consecuencia directa de estos cambios en la composición atmosférica, las temperaturas medias a nivel mundial están aumentando rápidamente. La OMM anunció recientemente que la temperatura media global en 2016 fue unos 1,1 °C más alta que en el período preindustrial; es decir, aproximadamente, 0,83 °C superior a la media a largo plazo (14 °C) del período de referencia 1961-1990 establecido por la OMM y alrededor de 0,07 °C superior al récord anterior, alcanzado en 2015.

En 2013, el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) publicó su Quinto Informe de Evaluación, cuyo primer volumen explica las bases científicas físicas del cambio climático. La conclusión categórica es que el cambio climático es real, las actividades humanas son las causantes y los impactos negativos en la sociedad, como el aumento del nivel del mar, están creciendo rápidamente. Por primera vez, el IPCC fue capaz de estimar las emisiones de CO<sub>2</sub> acumulado desde tiempos preindustriales y de proporcionar un objetivo de emisiones futuras de CO<sub>2</sub> para limitar el calentamiento a menos de 2 °C. En 2011 ya se había emitido en torno a la mitad de dicho objetivo.

En diciembre de 2015, el CMNUCC adoptó el Acuerdo de París sobre el cambio climático. Su objetivo es mantener el aumento de la temperatura global a final de siglo muy por debajo de los 2 °C respecto a niveles preindustriales y promover esfuerzos para limitar el incremento de temperatura más allá de los 1,5 °C. Los niveles mundiales de CO<sub>2</sub> han

aumentado un 12%, pasando de las 356 ppm en 1992, cuando se adoptó la CMNUCC, a las 400 ppm en 2015. En el mismo período, el CO<sub>2</sub>-eq (para cualquier cantidad y tipo de GEI, la cantidad de CO<sub>2</sub> que tendría un impacto equivalente en el calentamiento global) creció un 13%, de las 421 ppm a las 485 ppm. Debido al efecto acumulativo de los GEI en la atmósfera, la ventana de oportunidad para conseguir los objetivos del Acuerdo de París se está cerrando rápidamente<sup>5</sup>.

El Acuerdo de París pretende lograr su objetivo vía “contribuciones determinadas a nivel nacional”, que varían en función de la capacidad y el nivel de desarrollo económico nacionales. Varias estimaciones independientes sugieren que la suma actual de todos los compromisos de reducción de emisiones según las actuales contribuciones determinadas a nivel nacional no pone al mundo en el camino para alcanzar los objetivos del Acuerdo de París. La estructura del Acuerdo tiene en cuenta esta brecha inicial mediante la incorporación de un “balance mundial” periódico a realizar cada cinco años comenzando en 2018, con la intención de hacer un seguimiento del progreso mundial hacia la consecución de los objetivos anteriormente mencionados. Este también será el momento para que los países hagan balance de sus progresos individuales y tengan oportunidad de cerrar la brecha, incrementando sus promesas. Pero, ¿cómo se determinará el progreso hacia los objetivos del Acuerdo de París?

<sup>5</sup> Thomas F. Stocker, 2013: The Closing Door of Climate Targets, *Science*, 18 de enero de 2013, volumen 339, número 6117, págs. 280-282, DOI: 10.1126/science.1232468.



*Estación de la VAG en Punta del Cabo (Sudáfrica)*

## Mediciones atmosféricas para gestionar las emisiones

El mejor indicador del éxito y la vitalidad del Acuerdo de París son las mismas mediciones de concentración atmosférica de CO<sub>2</sub> y otros GEI que estimularon la acción sobre el cambio climático. Las mediciones continuas, coherentes y exactas de la concentración de GEI a escalas local, nacional y mundial tienen valor más allá de su papel original como señales que llaman la atención sobre el reto del cambio climático. Las concentraciones de GEI medidas constituyen los máximos indicadores de los éxitos de la política de reducción de emisiones. A pesar de estas políticas y de las medidas aplicadas, la puesta en práctica efectiva, tanto a corto como a largo plazo, requerirá información coherente, fiable y oportuna sobre la magnitud de las concentraciones de GEI, sus fuentes y sumideros y sus tendencias en el tiempo. Para que el balance mundial tenga el efecto deseado, debe establecerse un objetivo mundial para las concentraciones medias de GEI en el período de 2030 a 2050, traducirse en esfuerzos específicos de reducción de emisiones y actualizarse periódicamente. Las concentraciones de GEI y sus tendencias en el tiempo son el método definitivo de los gobiernos individuales para evaluar de forma precisa si sus medidas determinadas a nivel nacional están contribuyendo a los resultados globales deseados.

El Programa de la Vigilancia de la Atmósfera Global (VAG) de la OMM se creó en 1989 en reconocimiento de la necesidad de un mejor conocimiento científico de la creciente influencia de las actividades humanas sobre la composición de la atmósfera y los consiguientes impactos medioambientales. Las mediciones de gases que agotan el ozono realizadas por la VAG han desempeñado, y continúan haciéndolo, un papel crucial en la respuesta satisfactoria del Protocolo de Montreal al agotamiento de la capa de ozono estratosférico y al aumento

de la radiación ultravioleta (UV). Las mediciones de GEI por parte de la VAG son reconocidas por el Sistema Mundial de Observación del Clima como un componente clave en su Plan de ejecución bajo los auspicios de la CMNUCC. Históricamente, las mediciones de GEI se han realizado en localizaciones remotas que optimizaban la frecuencia de muestreo de las concentraciones de fondo mundiales. En 2016, la VAG puso en marcha un nuevo plan de puesta en práctica desarrollado sobre el concepto de "ciencia para los servicios" que aporta al programa una mayor orientación hacia el usuario.

La CMNUCC ha solicitado a ciertos países que informen sobre sus inventarios anuales de GEI. Estos informes de inventario han sido elaborados de acuerdo con los métodos estadísticos descritos en las Directrices de 2006 del Grupo Especial para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero del IPCC. En 2010, las comunidades científicas dedicadas al estudio de la atmósfera, el ciclo del carbono y el cambio climático desarrollaron una serie de trabajos sobre el potencial de las mediciones de la concentración atmosférica de GEI y el análisis de modelos para evaluar y mejorar de forma independiente la exactitud de los inventarios de emisiones de GEI. Estos estudios concluyeron que, para materializar este enfoque, era necesario realizar inversiones adicionales en investigación, aumentar la densidad de mediciones bien calibradas de las emisiones atmosféricas de GEI y mejorar la modelización del transporte atmosférico y las capacidades de asimilación de datos.

## La ciencia para los servicios de la VAG: el Sistema mundial integrado de información sobre los gases de efecto invernadero

El Decimoséptimo Congreso Meteorológico Mundial aprobó una resolución que iniciaba el desarrollo de un Sistema

mundial integrado de información sobre los gases de efecto invernadero, basado en los éxitos y progresos de la VAG desde 2010 en las mediciones y modelización de la atmósfera. Se creó un equipo de planificación compuesto por científicos y partes interesadas de países desarrollados y en desarrollo de las seis Regiones de la OMM para elaborar el documento conceptual del citado Sistema; este último trabajará en estrecha colaboración con los responsables de elaborar los inventarios y con otras partes interesadas que necesiten realizar un seguimiento de las emisiones de GEI para desarrollar metodologías sobre cómo las mediciones de concentración atmosférica de GEI (descendentes) se pueden combinar con datos del inventario de emisiones –explícitos espacial y temporalmente (ascendentes)– para lograr una mejor información y gestión de las mediciones y de las políticas de reducción de emisiones. La red de mediciones de GEI de la VAG y sus referencias serán esenciales para el éxito del Sistema pero el enfoque y la localización de los emplazamientos de medición deben ampliarse desde las localizaciones remotas hasta las regiones fuente más importantes de GEI, donde esté teniendo lugar o sea necesaria una reducción de las emisiones.

El Sistema se centrará en casos de uso existentes para los que el conocimiento científico y técnico está demostrado y en los que la información del Sistema puede satisfacer las necesidades explicitadas (o no reconocidas previamente) de las instancias decisorias que evaluarán la información. Los criterios que determinarán el éxito son que la información del Sistema mundial integrado sea “utilizada” y oriente acciones adicionales y valiosas de reducción de emisiones, fomentando la confianza en el papel de las mediciones de composición atmosférica como parte fundamental del conjunto de herramientas para la mitigación del cambio climático.

El éxito de este Sistema dependerá de la coordinación internacional de los Miembros de la OMM y de las colaboraciones con algunos asociados de la OMM como el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, la Oficina Internacional de Pesos y Medidas, el Grupo de observación de la Tierra, el IPCC y muchos otros. El Sistema determinará y difundirá las normas y directrices de metodologías que den lugar a información coherente e intercomparable, como las que ya produce la VAG para las referencias de medición de concentraciones. Con el tiempo, el marco del Sistema debe ser capaz de promover y admitir el avance de las capacidades técnicas (por ejemplo, nuevos satélites de observación y sensores), mejorando continuamente el alcance y la calidad de la información y aumentando la confianza del usuario.

La puesta en marcha del Sistema está comenzando ahora, tras la aprobación del documento conceptual por parte del Consejo Ejecutivo de la OMM en junio de 2016. El equipo del Sistema definió cuatro objetivos de aplicación, siendo los tres primeros: 1) reducir la incertidumbre de los inventarios

nacionales de emisiones comunicados a la CMNUCC; 2) localizar y cuantificar las posibilidades de reducción de emisiones antes desconocidas, como las emisiones fugitivas de metano procedentes de fuentes industriales; y 3) ofrecer a las entidades subnacionales, tales como las grandes regiones de origen urbano (megalópolis), información oportuna y cuantificada sobre las cantidades, tendencias y atribuciones por sector de sus emisiones de GEI para evaluar y guiar el progreso hacia los objetivos de reducción de emisiones.

El cuarto objetivo del Sistema es similar en su naturaleza y alcance al objetivo 3), pero se centra en el apoyo al balance mundial del Acuerdo de París; habrá de ponerse en marcha necesariamente a escalas nacional y mundial pero en este momento su grado de madurez es inferior a la de los otros tres objetivos. Una de las razones de ello es que, aunque el Sistema tiene una visión sobre cómo apoyar el inventariado, el Acuerdo de París no especifica cómo llevar a cabo el balance mundial. Otra razón radica en que la consideración del CO<sub>2</sub> de combustibles fósiles vía métodos descendentes carece de madurez para lograr la exactitud de los protocolos del nivel 3 del Grupo Especial para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero del IPCC a fin de estimar los inventarios de emisión de CO<sub>2</sub> de combustibles fósiles a escala nacional. Esto es debido a que las mediciones atmosféricas de CO<sub>2</sub> contienen una señal significativa de la biosfera y son por tanto necesarias, pero no suficientes, para inferir las emisiones de CO<sub>2</sub> de combustibles fósiles<sup>6</sup>. Sin embargo, se ha puesto de relieve que las emisiones de CO<sub>2</sub> de combustibles fósiles pueden deducirse mediante análisis de modelos inversos a partir de una combinación de CO<sub>2</sub> atmosférico, mediciones de radiocarbono (<sup>14</sup>CO<sub>2</sub>) y mediciones de otras especies atmosféricas covariantes<sup>7</sup>.

La puesta en práctica del Sistema se está llevando a cabo a lo largo de dos líneas de actividad:

- la preparación de directrices metodológicas que describan “buenas prácticas” en el uso de las mediciones atmosféricas para aplicar bajo cada área objetivo; y
- el inicio de nuevos proyectos y demostraciones que difundan y fomenten las capacidades de estas buenas prácticas y se ganen la confianza de las partes interesadas en el valor de la información del Sistema.

<sup>6</sup> Shiga, Y. P., A. M. Michalak, S. M. Gourdji, K. L. Mueller y V. Yadav, 2014: Detecting fossil fuel emissions patterns from subcontinental regions using North American in situ CO<sub>2</sub> measurements, *Geophys. Res. Lett.*, 41(12), 4381-4388.

<sup>7</sup> Basu, S., J. B. Millery S. Lehman, 2016: Separation of biospheric and fossil fuel fluxes of CO<sub>2</sub> by atmospheric inversion of CO<sub>2</sub> and <sup>14</sup>CO<sub>2</sub> measurements: Observation System Simulations, *Atmos. Chem. Phys.*, 16(9), 5665-5683.

## **Objetivo 1 — Apoyo a los inventarios nacionales de emisiones de gases de efecto invernadero**

Con anterioridad al Acuerdo de París, la CMNUCC solicitó a las Partes del anexo 1 (países desarrollados) el envío de informes anuales con sus inventarios de emisiones nacionales, pero las Partes no incluidas en el anexo 1 (países en desarrollo) no tenían este requisito. Ahora, el artículo 13, párrafo 7, del Acuerdo de París establece:

Cada Parte deberá proporcionar periódicamente la siguiente información: (a) Un informe sobre el inventario nacional de las emisiones antropógenas por las fuentes y la absorción antropógenas por los sumideros de gases de efecto invernadero, elaborado utilizando las metodologías para las buenas prácticas aceptadas por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático que haya aprobado la Conferencia de las Partes en calidad de reunión de las Partes en el presente Acuerdo.

Las “metodologías para las buenas prácticas” a las que se hace referencia en el Acuerdo de París son los protocolos desarrollados por el Grupo Especial del IPCC. Estos combinan factores de emisión específicos de las fuentes con datos estadísticos de actividad, por ejemplo, el número y el tipo de plantas de combustión de carbón o de coches en la carretera (métodos ascendentes). Las emisiones de dióxido de carbono generadas por el uso de combustibles fósiles homogéneos y procesos predecibles pueden estimarse con exactitud allí donde haya sistemas estadísticos bien desarrollados pero otras fuentes más heterogéneas o dispersas, como el metano procedente de la gestión de residuos o de la producción y conducción de gas natural, son más difíciles de evaluar.

Las mediciones atmosféricas y los análisis de modelos pueden respaldar el proceso al proporcionar la útil limitación adicional de cuantificación descendente (donde los flujos se estiman mediante modelización inversa de las concentraciones observadas). Suiza y el Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda del Norte, y en menor medida Australia, ya hacen uso de análisis descendentes para lograr mejoras en sus informes de inventario de emisiones ascendentes. Un objetivo a corto plazo del Sistema mundial integrado de información sobre los gases de efecto invernadero es difundir estas buenas prácticas y establecer métricas de calidad para esos métodos descendentes, determinar cómo pueden compararse con inventarios de GEI desarrollados con metodologías ascendentes y analizar cómo pueden utilizarse los resultados para definir mejoras en la entrada de datos de los inventarios ascendentes. El progreso hacia este objetivo se hace evidente en el borrador aprobado de “Perfeccionamiento de 2019 de las Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero”. Este Perfeccionamiento actualizará y desarrollará las Directrices del Grupo Especial del IPCC para incluir el uso de mediciones atmosféricas y análisis

de modelos teniendo en cuenta la gran cantidad de nuevos conocimientos científicos y empíricos publicados desde 2006.

## **Objetivo 2 — Detección y cuantificación de emisiones fugitivas de metano**

Las concentraciones atmosféricas de metano a nivel mundial continúan aumentando pero la variabilidad y atribución de la tasa de crecimiento global para fuentes tanto naturales como antrópicas no se conocen bien. El gas natural, compuesto principalmente por metano, tiene el potencial de ser mucho más amigable para el clima que el carbón o el petróleo. Pero el problema con el metano es que si entra en la atmósfera sin haberse quemado, se convierte en un GEI muy potente, mucho más potente, a nivel molecular, que el dióxido de carbono.

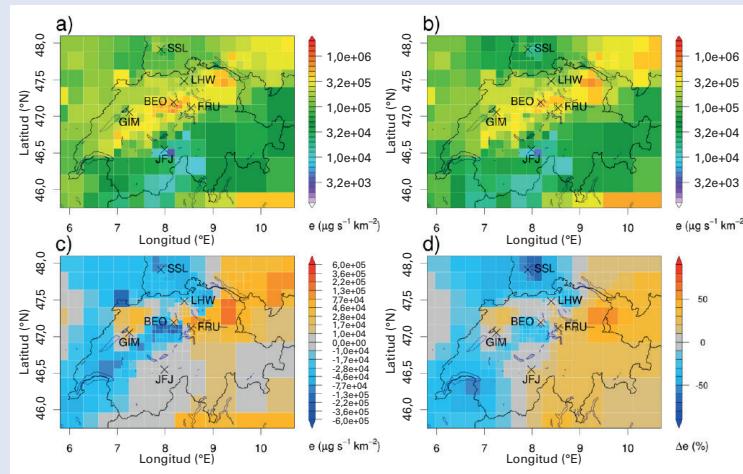
La cantidad y la localización de las emisiones “fugitivas” de metano procedente de fuentes industriales y agrarias tampoco se conocen bien. Este objetivo del Sistema mundial integrado de información sobre los gases de efecto invernadero pretende extender los éxitos significativos del Fondo para la Defensa del Medioambiente y de la Administración Nacional del Océano y de la Atmósfera en la detección de superemisores de metano en la cadena norteamericana de suministro internacional de petróleo y carbón<sup>8,9</sup>. Si se tiene en cuenta esa información podría conducir a reducciones significativas de las emisiones de metano. La exploración de estas soluciones y su aplicación a nuevos tipos de emplazamientos o perfiles de emisión, por ejemplo las plataformas petrolíferas, posiblemente pueda proporcionar reducciones adicionales. El Sistema también pretende extender esta estrategia a otros sectores emisores de metano como tierras inundadas, agricultura, vertederos y aguas residuales, así como desarrollar a medio plazo metodologías apropiadas para cada sector. Dichos sectores presentan estrechos vínculos con las emisiones urbanas, ya que es mucho más probable que se encuentren situados en ciudades o cerca de ellas que los emplazamientos de extracción de petróleo y gas.

Estudios de investigación muestran que la regla 50/5 se aplica a las fugas de gas natural. Es decir, el 5% de las fugas más grandes son normalmente las responsables del 50% o más del volumen total fugado. Estos “superemisores”, grandes fuentes puntuales que se cree que contribuyen de forma

<sup>8</sup> Zavala-Araiza y otros, 2015: Reconciling divergent estimates of oil and gas methane emissions. PNAS, 112(51):15597-15602, [www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1522126112](http://www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1522126112).

<sup>9</sup> Brandt y otros, 2014: Methane Leaks from North American Natural Gas Systems, *Science*, 14 de febrero de 2014, volumen 343, número 6172, págs. 733-735. DOI: 10.1126/science.1247045.

## El análisis descendente suizo



*La distribución espacial del inventario suizo de emisiones a priori se muestra en a), las emisiones a posteriori en b) y las diferencias absoluta y relativa (a posteriori menos a priori) en c) y en d), respectivamente. Se ha utilizado una malla de inversión irregular que presenta una alta resolución espacial en las proximidades de los puntos de observación (marcados con una X) que se hace más grosera con la distancia a estos puntos<sup>9</sup>.*

Se combinaron mediciones continuadas de metano en cuatro estaciones de la meseta suiza y dos estaciones adicionales con simulaciones de transporte atmosférico y entornos de modelización inversa para deducir la distribución espacial de las emisiones de CH<sub>4</sub> en Suiza y los países adyacentes. La mejor estimación inversa (*a posteriori*) de las emisiones suizas totales de CH<sub>4</sub> para el período de observación de marzo de 2013 a febrero de 2014 es de  $196 \pm 18$  Gg año<sup>-1</sup>.

Este valor se encuentra en absoluta consonancia con el total del inventario nacional de emisiones ascendentes (*a priori*) de  $206 \pm 33$  Gg año<sup>-1</sup> declarado por Suiza a la CMNUCC en 2015 para los años 2012 y 2013.

La aproximación descendente confirma en gran medida la estimación ascendente de las emisiones totales, ya que la inclusión de mediciones atmosféricas reduce la incertidumbre del valor declarado de un 16% a un 9%. El sistema de medición e inversión se estableció para estimar la distribución espacial de las emisiones totales y no para atribuir las emisiones a sectores fuente específicos y separados.

Se puede observar un patrón espacial robusto en los gráficos de diferencias absoluta y relativa de las emisiones *a posteriori* menos las *a priori* que sugiere un aumento de emisiones de metano en el noreste de Suiza. Una posible causa para estas diferencias son las distintas prácticas agropecuarias entre esta zona y el resto del país, dando lugar a diferentes emisiones per cápita procedentes de la ganadería.

Otras posibles fuentes antrópicas y naturales pueden contribuir a las inesperadamente elevadas emisiones de esta zona. Se necesitan más observaciones para verificar y caracterizar mejor este surgimiento pero el resultado ya demuestra un valor añadido.

<sup>9</sup> Henne, S. y otros, 2016: Validation of the Swiss methane emission inventory by atmospheric observations and inverse modelling, *Atmos. Chem. Phys.*, 16:3683-3710, [www.atmoschem-phys.net/16/3683/2016/](http://www.atmoschem-phys.net/16/3683/2016/).

desproporcionada a las emisiones antrópicas de metano, son lógicos objetivos para la mitigación.

Una estrategia de observación escalonada, que incluye satélites y aviones así como mediciones de superficie

móviles y desde torres elevadas, ha demostrado su eficacia a la hora de identificar estos superemisores y su contribución a las emisiones regionales de metano. Este enfoque se ha probado con estudios sobre el terreno de fuentes agrícolas y de petróleo y gas en el valle de San Joaquín, en California,



*Gaby Petron con su laboratorio móvil de medición de GEI estudiando fugas de metano. Se pueden rastrear las superemisiones fugitivas de metano por medio de un conjunto escalonado de observaciones realizadas desde satélites y aviones, y también desde vehículos y torres elevadas sobre la superficie terrestre; todas ellas pueden aproximarse de forma continua y con facilidad desde escalas regionales hasta la localización de la fuga.*

con la cooperación de un equipo en el que participaron múltiples partes interesadas<sup>10</sup>.

### Objetivo 3 — Estimación y atribución de emisiones en las megalópolis

La Agenda de Acción Lima-París ha formalizado un papel para las entidades subnacionales tales como las ciudades (grandes regiones de origen urbano). Las ciudades y sus plantas energéticas constituyen las mayores fuentes de emisión de GEI de la actividad humana. A fin de proporcionar un diagnóstico de las emisiones urbanas a escalas relevantes para la toma de decisiones a dicho nivel y permitir la identificación de oportunidades para reducir o mitigar las emisiones de carbono, las ciudades necesitan informarse mejor acerca de su paisaje emisor. Esta información no solo debería contemplar métodos científicos exactos, sino también localizar emisiones a escalas espaciales y temporales relevantes para la toma de decisiones a nivel urbano e identificar sus principales características funcionales (sector, subsector, combustible).

Una serie de proyectos de investigación en todo el mundo, como el estudio INFLUX de Indianápolis y el Proyecto de Megalópolis Los Ángeles/París, han desarrollado y probado métodos para la estimación de emisiones de GEI. Este trabajo ha consolidado un sistema de información de GEI urbanos que combina vigilancia atmosférica, minería de datos y algoritmos de modelización. El Sistema mundial integrado

de información sobre los gases de efecto invernadero rediseñará el sistema de información de GEI urbanos para que se pueda poner en marcha en diferentes partes del mundo, en particular en los países de ingresos bajos y medios, donde las necesidades de información sobre GEI son mayores y la capacidad es limitada.

Varios estudios han mostrado el potencial de las redes de medición atmosférica y los análisis de modelos inversos de alta resolución para cuantificar mejor las emisiones y tendencias de GEI de las ciudades<sup>11,12</sup>. Los requisitos de la inversión de la atmósfera son más exigentes en el caso del CO<sub>2</sub> de combustibles fósiles. Sin embargo, hay evidencias de que combinando el análisis de modelos inversos de una red de medición suficientemente densa y bien distribuida con un conocimiento previo y espacialmente explícito de las fuentes, las emisiones urbanas de CO<sub>2</sub> de combustible fósil pueden cuantificarse mejor<sup>13</sup>.

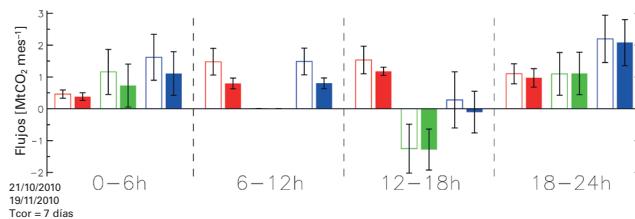
A pesar del valor que tienen las tendencias de las emisiones totales de CO<sub>2</sub> de combustibles fósiles de las ciudades, los urbanistas y los gestores necesitarán información específica de cada sector que les oriente hacia oportunidades de

<sup>11</sup> Lauvaux, T. y otros, 2016: High-resolution atmospheric inversion of urban CO<sub>2</sub> emissions during the dormant season of the Indianapolis Flux Experiment (INFLUX), *J. Geophys. Res. Atmos.*, 121, doi: 10.1002/2015JD024473.

<sup>12</sup> McKain, K. y otros, 2015: Methane emissions from natural gas infrastructure and use in the urban region of Boston, Massachusetts, *PNAS*, 112(7):1941-1946, doi: 10.1073/pnas.1416261112.

<sup>13</sup> Bréon, F. M. y otros, 2015: An attempt at estimating Paris area CO<sub>2</sub> emissions from atmospheric concentration measurements, *Atmos. Chem. Phys.*, 15:1707-1724, www.atmos-chemphys.net/15/1707/2015/acp-15-1707-2015.html

<sup>10</sup> Hulley y otros, 2016: High spatial resolution imaging of methane and other trace gases with the airborne Hyperspectral Thermal Emission Spectrometer (HyTES), *Atmos. Meas. Tech.*, 9, 2393-2408, www.atmos-meas-tech.net/9/2393/2016/doi:10.5194/amt-9-2393-2016.



*Estimación del flujo total durante un período de 30 días, para cuatro períodos de 6 horas, de emisiones antrópicas (rojo), flujos biogénicos (verde) y total (azul). Las estimaciones a priori se muestran como rectángulos abiertos, mientras que las emisiones a posteriori se muestran como rectángulos rellenos. La reducción de incertidumbre es evidente en los períodos de la mañana y la tarde<sup>14</sup>.*

reducción de emisiones. En economías emergentes que pueden tener un conocimiento estadístico inadecuado de las emisiones ascendentes para su área nacional, las grandes regiones fuente urbanas y los paisajes forestales, las aproximaciones mediante inversión descendente de las mediciones atmosféricas del Sistema pueden conformar fuentes de información de referencia y tendencia especialmente valiosas.

## Cómo el Sistema integrado de información aporta conciencia situacional sobre el carbono

El sistema carbono-clima de la Tierra está experimentando un cambio profundo y sin precedentes que viene impulsado por las emisiones de los combustibles fósiles y las asociadas al cambio en el uso de la tierra, que dan lugar al aumento de las concentraciones atmosféricas de CO<sub>2</sub> y de otros GEI. Durante las últimas décadas, el efecto de las emisiones sobre el aumento de CO<sub>2</sub> atmosférico ha sido fuertemente atenuado por la respuesta del ciclo natural del carbono, ya que los sumideros de carbono de los océanos y la superficie terrestre han absorbido, por término medio, la mitad de las emisiones aproximadamente. Se prevé que el futuro cambio climático debilitará la capacidad de los sumideros naturales, es decir, disminuirá su capacidad para absorber CO<sub>2</sub>. Esta combinación de complejidad a través de muchas escalas espaciotemporales y procesos de control tiene ciertos paralelismos con fenómenos meteorológicos y otros extremos medioambientales bien definidos. Sin embargo, a diferencia de los fenómenos meteorológicos y los episodios extremos, actualmente,

la sociedad tiene una “conciencia situacional” limitada del sistema acoplado del carbono de origen humano y natural.

Mientras el Sistema mundial integrado de información sobre los gases de efecto invernadero tiene objetivos y productos finales a corto plazo que orientarán la mejora del conocimiento en materia de emisiones y posiblemente advertirán de nuevas oportunidades para la reducción de emisiones, la recompensa a largo plazo será la de posibilitar una aportación de conciencia situacional sobre el carbono que sea relevante en la toma de decisiones mediante evaluaciones exhaustivas, fiables, sostenibles y frecuentes de los flujos de gases de efecto invernadero.

La visión de las capacidades del Sistema a largo plazo es similar en cierto sentido a determinados aspectos de los servicios meteorológicos modernos, principalmente por lo que se refiere a la entrega rápida de los flujos de carbono y las actividades de control actuales y recientes (en períodos temporales de semanas en lugar de años). Y, al igual que en el caso de los servicios meteorológicos modernos, la transición entre los sistemas de observación e información de GEI orientados a la investigación y los operativos presenta una serie de desafíos que llevará décadas superar.

Un estudio patrocinado por la Comisión Europea examinó los requisitos de un sistema de observación operativo capaz de monitorizar las emisiones de CO<sub>2</sub> de combustibles fósiles. Se centró principalmente en el ámbito europeo y empleó las inversiones ya realizadas para el programa Copernicus. Las conclusiones del informe son relevantes para completar las inversiones que son necesarias para que el enfoque del Sistema proporcione valiosas limitaciones adicionales a los inventarios de emisiones de CO<sub>2</sub> de combustibles fósiles, y para el objetivo a largo plazo del Sistema de conseguir una estrategia operativa más sistemática. El Sistema aprovechará, integrará y mejorará las redes de medición en superficie ya existentes y planificadas, las observaciones aéreas y satelitales, los entornos de modelización y los sistemas de asimilación de datos y, cuando sea necesario, llenará lagunas fundamentales en dichos sistemas.

Como proveedores de los modernos servicios meteorológicos, la OMM, sus Miembros y sus asociados poseen la experiencia y los conocimientos técnicos indispensables para desarrollar el Sistema y mantenerlo en sus futuras fases de construcción, distribución y operación. Haciendo uso de las competencias de los servicios meteorológicos y continuando con la investigación de la atmósfera y del ciclo del carbono, la OMM puede proporcionar el liderazgo y la estructura necesarios para apoyar la construcción de un Sistema capaz de proporcionar a la sociedad una conciencia situacional relevante en la toma de decisiones, al intentar manejar los inevitables, y evitar los inmanejables, impactos del cambio climático.

<sup>14</sup> Ciais y otros, 2015: Towards a European Operational Observing System To Monitor Fossil CO<sub>2</sub> Emissions ([www.copernicus.eu/sites/default/files/library/CO2\\_Report\\_22Oct2015.pdf](http://www.copernicus.eu/sites/default/files/library/CO2_Report_22Oct2015.pdf)).