

## El Vapor de Agua y el Cambio Climático

Cristian Mattar B.<sup>1</sup>, Luis Morales S.<sup>1,2</sup> y Giorgio Castellaro G.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales Renovables. [emattar@uchile.cl](mailto:emattar@uchile.cl)

<sup>2</sup> Departamento de Física. Facultad de Ciencias Naturales y Exactas. Universidad Tecnológica Metropolitana. [lmorales@uchile.cl](mailto:lmorales@uchile.cl)

<sup>3</sup> Departamento de Producción Animal. [gicastel@uchile.cl](mailto:gicastel@uchile.cl)

El reciente informe (2007) emitido por el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC en inglés), ha generado un impacto en la opinión pública como producto de los posibles cambios en las temperaturas y precipitaciones que afectarían al mundo en las próximas décadas y a Chile en particular. Desde la fecha de su publicación, son muchos los artículos que han aparecido en los medios de comunicación respecto a los efectos de las emisiones de gases con efecto invernadero y, al mismo tiempo, se ha puesto en debate la tasa de emisión de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ), óxido nítrico ( $\text{N}_2\text{O}$ ) y otros, atribuyéndole al primero la principal responsabilidad sobre el cambio que está sufriendo el clima del planeta.

El  $\text{CO}_2$  y los gases con efecto invernadero de origen antropogénico se plantean como los principales responsables del calentamiento global. De hecho, el protocolo de Kyoto de diciembre de 1997, concluyó con la adopción de un protocolo de reducción de emisiones de gases invernadero por los 38 países industrializados que ratificaron el acuerdo, el compromiso obliga a limitar las emisiones conjuntas de seis gases ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ , compuestos perfluorocarbonados (PFC), compuestos hidrofluorocarbonados (HFC) y hexafluoruro de azufre), respecto a las de 1990 durante el periodo 2008-2012, en proporciones diferentes según el país. En conjunto, la reducción global acordada es cercana al 5% para los países industrializados; el Protocolo no obliga en una primera fase a los países en desarrollo, dadas sus reducidas emisiones por habitante.

El incremento de la concentración de estos gases traería como consecuencia un potencial aumento de temperatura global planetaria entre 1,2 y 4,5°C durante las próximas décadas. Actualmente, se sabe que el contenido de  $\text{CO}_2$  en la atmósfera ha aumentado, con el consecuente incremento de la temperatura, pero este aumento, cuya tasa puede variar espacialmente, ha generado efectos colaterales en la concentración de otros gases atmosféricos. Es el caso del vapor de agua, cuya concentración atmosférica es producto de un proceso natural, aspecto que no se ha considerado con suficiente detalle en la elaboración de los modelos teóricos de circulación general de la atmósfera (MCGA).

El vapor de agua es uno de los gases que se encuentra en mayor proporción en la atmósfera, después del Nitrógeno y el Oxígeno, ocupando entre el 2 y el 5 % de la masa de la atmósfera (primeros 80 km). Este gas es considerado uno de los principales causantes del calentamiento global, ya que es responsable de los dos tercios del efecto invernadero "natural" que tiene la tierra.

Pero, ¿cuál es la relación que tiene el vapor de agua con la temperatura?

Investigaciones realizadas durante las dos últimas décadas, han determinado que el vapor de agua tiene una retroalimentación positiva con la temperatura. Producto del aumento de las concentraciones de  $\text{CO}_2$ , se ha producido una elevación de la temperatura global, lo que ha generado a su vez una elevación en la concentración de vapor de agua atmosférico. Este último efecto potencia aún más el aumento de las

temperaturas, no obstante, los mecanismos mencionados anteriormente están aún bajo estudio y todavía no se conocen sus interacciones con la mayor parte de los gases que existen en la atmósfera y menos aún, las potenciales retroalimentaciones con los mismos. Estos aspectos son incorporados de manera parcial en los MCGA, que se utilizan para la predicción de futuros escenarios climáticos.

El incremento del contenido de  $\text{CO}_2$  en la atmósfera, es atribuible casi en un 90% a las actividades antropogénicas, principalmente la combustión de materiales fósiles. Debido a lo anterior, la mitigación de estos gases depende en gran medida de las tecnologías y las políticas que el ser humano desarrolle en el futuro. Por otra parte el incremento del vapor de agua, producto en casi su totalidad de un aumento de la temperatura, no es posible de reducir mediante acciones diseñadas por el hombre.

El vapor de agua tiene un comportamiento térmico particular, sólo se conoce su comportamiento radiativo en una porción de todo su espectro electromagnético, lo que hace aún más difícil la modelación de este gas, ya que del total de la radiación de onda larga que irradia la tierra, gran parte es absorbida por el vapor de agua y reemitida hacia la superficie terrestre, sin embargo, la magnitud de sus efectos todavía es poco clara.

Existe una serie de estudios realizados con MCGA, donde se han simulado los posibles efectos que tendría una duplicación de las concentraciones de  $\text{CO}_2$  atmosférico sobre el clima global del planeta. Sin embargo, en estos estudios toda-

vía no se ha podido incorporar de manera precisa la dinámica de la concentración del vapor de agua, la cual puede variar en los diferentes niveles de la atmósfera y en relación a la interacción con otros gases que son considerados en los MCGA.

Algunos estudios plantean que un incremento en el vapor de agua disminuiría la radiación solar que incide en la tierra, ya que este gas aumentaría los montos de nubosidad lo que traería como consecuencia un incremento en el albedo planetario (proporción de la radiación solar global que es reflejada por la tierra). Lo anterior produciría un aumento en la reflexión de la energía de onda corta. Sin embargo, no todo el vapor de agua se condensa formando nubes y no toda la nubosidad precipita, por lo que todavía no se puede asegurar que un aumento del vapor de agua generaría una disminución de la radiación solar incidente sobre la superficie terrestre.

Las primeras estimaciones sobre el cambio climático en Chile, se realizaron a partir del informe final del IPCC del año 1994. Estas estimaciones señalan que en los próximos 50 años, los montos de precipitación tenderían a disminuir en la mayor parte del territorio continental,

afectándose su intensidad y distribución; y la temperatura media anual podría aumentar entre 1 y 2°C, siendo estos procesos más intensos en la zona norte del país. Hacia el sur, las variaciones no serían tan significativas ya que el contenido de vapor de agua disminuye, pues su distribución varía con la latitud.

Las últimas estimaciones en función de distintos escenarios sobre emisión de CO<sub>2</sub>, corresponden al año 2006 y entregan resultados muy similares a los planteados anteriormente.

La figura 1 muestra una situación potencial para Sudamérica, producto de una duplicación en la concentración de CO<sub>2</sub> atmosférico, la cual fue estimada con el promedio de los resultados de veinte MCGA validados por el IPCC. Sin embargo, en estos modelos se ha considerado sólo de manera parcial la dinámica del vapor de agua. La figura 1(a) muestra la variación porcentual de la precipitación en Sudamérica, donde se aprecia una tendencia a la disminución en la mayor parte de Chile central. En el resto del continente se presentarían fenómenos puntuales como monzones sobre el Río de la Plata y el Este del Brasil. La figura 1(b) muestra el incremento que se produciría

en las temperaturas, las cuales serían más notorias en el centro del continente.

En el área silvoagropecuaria se ha mencionado que el cambio climático afectaría la producción de cultivos, la dinámica de plagas, produciría la extinción de algunas especies, tanto vegetales como animales, entre otros efectos. Pero todo lo anterior, se encuentra dentro de un marco de estudios teórico, donde los resultados pueden cambiar según la magnitud de las variables de entrada utilizadas en los modelos que realizan estos pronósticos.

Finalmente, se puede establecer que la atmósfera ha sufrido cambios globales generados principalmente por el aumento de gases con efecto invernadero, los que generalmente han sido atribuidos a la acción humana. Sin embargo, actualmente se asocia cada día más, el calentamiento global a la concentración de vapor de agua atmosférico. Aunque los escenarios futuros son poco auspiciosos para el país, hay que destacar que son sólo los resultados de modelos teóricos, los cuales todavía requieren de mayor investigación para lograr a través de ellos una mayor precisión en representar los escenarios futuros.

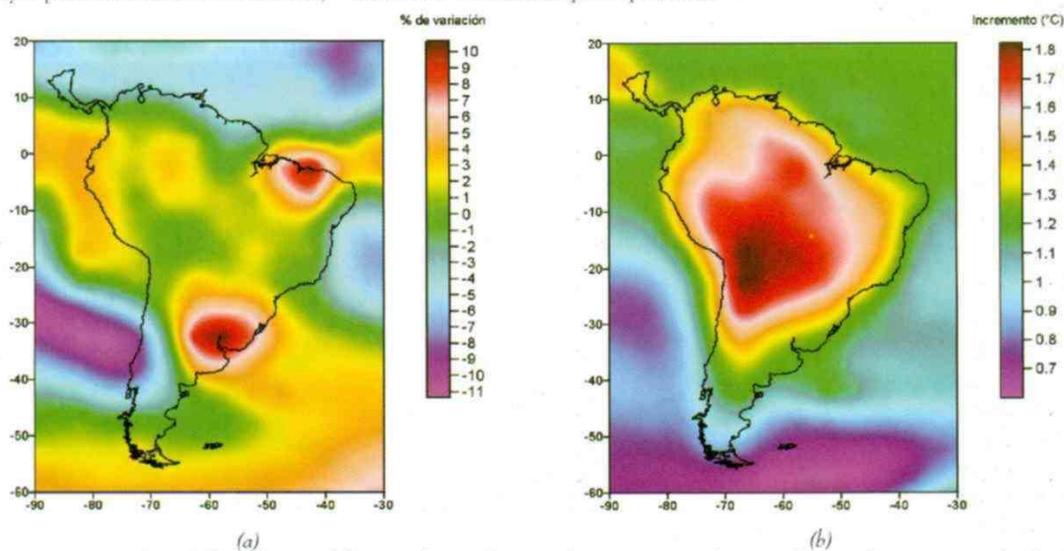


Figura 1.- Efecto de la duplicación del CO<sub>2</sub> sobre (a) el monto pluviométrico anual expresado como desvío porcentual y (b) la temperatura media anual, medida como desvío absoluto. Ambos valores están en relación a los promedios actuales.