

Océanos, CO₂ y futuro. LECCIÓN APERTURA DE CURSO 2011-2012

J. Magdalena Santana Casiano

Grupo QUIMA. Departamento de Química. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria

Excelentísimo Sr. Presidente del Gobierno de Canarias, Excelentísimo Sr. Consejero de Educación, Universidades y Sostenibilidad, Rector Magnífico de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, Rector Magnífico de la Universidad de La Laguna, Rector Magnífico de la Universidad de Cádiz, Dignísimas autoridades, Señoras y Señores, Compañeros.

Como Canaria, nacida en Las Palmas, Licenciada y Doctora en Ciencias del Mar por la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, es un honor estar hoy aquí en este acto de apertura del nuevo curso académico y quiero agradecer al Rector Magnífico de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria esta invitación. La Conferencia que voy a impartir lleva por título Océanos, CO₂, y futuro y está relacionada con una de las dos líneas de investigación que el grupo de Química Marina, QUIMA-ULPGC, viene desarrollando desde los años 90, coordinado por el Dr. González.

Comenzaré esta Lección de la misma forma que inicio cada tema en la Facultad de Ciencias del Mar y es planteándonos el porqué de lo que estudiamos. En éste caso, los océanos y hablaré en particular del CO₂ y de sus efectos en el medio marino. Si un visitante llegara por primera vez a la Tierra, con curiosidad acerca de la característica más relevante de nuestro planeta, elegiría lógicamente explorar los océanos, antes de considerar los continentes, ya que estos cubren el 75 por ciento de la Tierra y constituyen la parte más notoria y específica de nuestro planeta. Los océanos tienen una fuerte influencia en nuestras vidas a través de sus efectos en el clima, procesos costeros, fuente de alimentación, recreo, transporte, recursos minerales y desarrollo tecnológico. Nosotros también influimos en el océano a través de nuestras actividades, los productos de desecho y la sobreexplotación de los recursos pesqueros. Estas interacciones proporcionan suficientes razones como para estudiar el mar. Aunque el hecho de estudiar el océano por la pura curiosidad humana acerca de explorar el espacio interno de nuestro planeta es razón más que suficiente.

La ciencia que estudia los océanos se denomina Oceanografía. Esta es una ciencia interdisciplinar en la que investigadores de diversos campos se centran en el entendimiento de los procesos físicos, químicos, biológicos y geológicos que ocurren en los océanos, desde las zonas costeras hasta las cuencas más profundas. La Oceanografía se divide en cuatro ramas básicas, la oceanografía física, química, biológica y geológica pero necesita además de una serie de herramientas básicas como son las matemáticas, la informática y el modelaje.

Todas las orientaciones básicas de la Oceanografía se cubren en el Grado y la Licenciatura de Ciencias del Mar de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, la primera Facultad de Ciencias del Mar del territorio español, alcanzando una mayor especificidad y especialización en el Máster y Doctorado en Oceanografía.

La Oceanografía es una ciencia relativamente joven, que se inicia en el siglo XIX como tal, con la expedición del H.M.S. Challenger en 1872 y desde entonces ha evolucionado notablemente pasando de ser una disciplina meramente descriptiva a una oceanografía que busca respuestas teóricas a los procesos que ocurren en el medio marino en su conjunto. La Oceanografía en el siglo XIX, consideraba el océano como un sistema inalterable, que no había sufrido ningún cambio desde hace millones de años y enfatizaba en:

- la descripción de los animales marinos, las corrientes y forma de los fondos oceánicos
- exploración de la navegación

La Oceanografía del siglo XXI, considera al océano, desde el punto de vista científico, como una parte del sistema terrestre, en continuo cambio y evolución y enfatiza en:

- La interacción dinámica de los sistemas, en el cambio climático y en el incremento de la influencia de la actividad humana
- Los fenómenos a gran escala, con la aplicación de modelos de predicción y análisis
- En el desarrollo tecnológico incluyendo robótica, satélites y sistemas de observación bajo el agua

Por ejemplo, con respecto a la interacción dinámica de los sistemas, el cambio climático y en el incremento de la influencia de la actividad humana debemos entender mejor, a una escala global, los procesos que controlan la variación de los flujos de carbono con el tiempo y evaluar los intercambios con la atmósfera, los fondos oceánicos y márgenes continentales, con el objetivo de poder desarrollar una capacidad de predecir la respuesta del océano a las perturbaciones de origen antropogénico, en particular aquellas relacionadas con el cambio climático.

La actividad humana en tierra, a través de la combustión de carburantes fósiles, afecta al clima produciendo cambios en el efecto invernadero. El CO₂ es uno de los principales gases de efecto invernadero que es liberado a la atmósfera por la actividad humana, siendo una parte importante transferida a los océanos, será de este gas y de sus efectos de lo que hablaremos a continuación.

Desde 1751 más de 337 billones de toneladas de carbono se han liberado a la atmósfera a partir del consumo de combustibles fósiles y la producción de cemento. La mitad de esas emisiones se han producido a partir de los años 70. Las estimaciones globales anuales de carbono de 8365 millones de toneladas métricas, representan una de

las más altas de todos los tiempos. Globalmente, los combustibles sólidos y líquidos han originado el 76.3 % de las emisiones, el gas natural el 18.5%, la producción de cemento el 4.58% y el 1% por pérdidas de gas. En Europa, el Reino Unido, Italia, Francia y España se encuentran entre los países con mayores emisiones de CO₂. España ocupa el puesto 19 entre las naciones que más emiten CO₂ con 90 millones de toneladas métricas de carbono. El 55 % de estas emisiones provienen del uso del petróleo, le sigue el uso del carbón y las emisiones debido a la utilización de gas natural que han ido aumentando notablemente en estos años (Boden et al, 2010). Con respecto a la evolución de las emisiones de GEI en Canarias en el periodo 1990-2005, han aumentado en un 41,4%, lo que representa casi tres veces el incremento concedido a España en el Protocolo de Kyoto. Si lo comparamos con el conjunto de España las emisiones en este mismo período han aumentado en un 59,8%.

A la utilización de combustible minerales procedentes del petróleo, se les está buscando otras alternativas son los llamados biocombustibles o biodiesel, como el etanol y otros aceites procedentes de plantas, lo que está claro es que aunque en menor proporción, estos combustibles también emiten CO₂.

El aumento de las emisiones de CO₂ ha supuesto un incremento en el contenido de CO₂ en la atmósfera de un 2.5 % por año en esta última década. Desde 1958 se ha estado registrando la pCO₂ (presión parcial de CO₂) en la atmósfera en la estación de Mauna Loa en Hawaii, observándose un aumento en la misma. En la gráfica se recoge en detalle la variación anual experimentada en la atmósfera. Esta oscilación se debe a los ciclos anuales de variación en la temperatura y a la producción biológica.

Del total de emisiones de carbono a la atmósfera debido a la actividad antropogénica y deforestación, un 47% permanece en la atmósfera, un 27% es absorbido por los ecosistemas terrestres y un 26% por los océanos. Como consecuencia de la acumulación en la atmósfera del CO₂ y otros gases como el N₂O y CH₄ se está viendo afectado el efecto invernadero natural terrestre. Es necesario indicar que la vida en la Tierra no sería posible sin un efecto invernadero natural. Sin este la Tierra sería 33°C más fría y la temperatura media -18°C en lugar de los 15°C. La Tierra posee un sistema de control natural de la temperatura. Ciertos gases son críticos en este sistema y se conocen como gases de efecto invernadero. En términos medios, un tercio de la radiación solar que llega a la Tierra es reflejada y vuelve al espacio. La atmósfera absorbe una pequeña cantidad pero son la superficie terrestre y los océanos los que absorben más. Como consecuencia la superficie terrestre se calienta y emite radiación infrarroja. Los gases invernadero atrapan la radiación infrarroja y calientan la atmósfera. Los gases naturales que participan en este proceso son el vapor de agua, el dióxido de carbono, el ozono, metano y óxido nitroso y en conjunto crean un efecto invernadero natural. Sin embargo, la actividad humana está generando gran cantidad de gases invernadero, que hace que su concentración aumente en la atmósfera y como consecuencia el incremento de la temperatura es cada vez mayor. Esto se observa en la siguiente gráfica que muestra las tendencias globales en el aumento de T, tanto en la superficie terrestre como en el océano.

La temperatura en África en este registro de los últimos 100 años muestra un aumento del orden de 0.5°C . Esta velocidad de calentamiento es similar globalmente. El aumento en la temperatura está correlacionado con el aumento de CO_2 en la atmósfera y no se debe a que haya habido un aumento en las emisiones de radiación solares. En otras épocas, es cierto que ha habido aumento en la temperatura y en los niveles de CO_2 , pero no se han registrado los niveles de CO_2 que tenemos actualmente y tampoco estas variaciones se han producido en un periodo de tiempo tan corto. Como consecuencia de este aumento en la temperatura, se está produciendo un aumento en el nivel del mar por el deshielo como se muestra en la gráfica correspondiente al hemisferio Norte.

Este diagrama muestra el ciclo natural del carbono, el CO_2 es necesario para que las plantas en la Tierra y las algas en el Océano realicen la fotosíntesis. El problema se produce cuando debido a la actividad antropogénica se emite gran cantidad de CO_2 a la atmósfera el cual repercutirá a su vez en el océano.

Al igual que en la atmósfera, el contenido de CO_2 está aumentando en los océanos a un ritmo similar. El sistema atmósfera-océano funciona de la siguiente manera. Cuando la $p\text{CO}_2$ es mayor en la atmósfera que en océano hay transferencia desde la atmósfera y se dice que el sistema actúa como sumidero. Y cuando la $p\text{CO}_2$ es mayor en el océano la transferencia es desde el océano a la atmósfera y el sistema actúa como fuente. Regiones sumideros características son las zonas polares y fuente la región ecuatorial, por las temperaturas de sus aguas y el régimen de circulación. Una vez que el CO_2 entra en el océano este va a participar en los equilibrios químicos correspondientes, permitiendo que se encuentre como CO_2 disuelto, iones bicarbonatos y carbonatos, lo que se define como carbono inorgánico total. Una parte de CO_2 va a ser utilizada por las plantas marinas, fitoplancton, para realizar la fotosíntesis, siendo este el primer eslabón de la cadena trófica marina. Cuando la materia orgánica producida por los organismos se degrada, se oxida, se vuelve a producir CO_2 , esto ocurre a lo largo de la columna de agua alcanzando su valor máximo en torno a los 1000 m de profundidad. Los procesos físicos de mezcla y afloramiento de aguas contribuyen a que se produzca un transporte de CO_2 hacia las aguas superficiales.

Esta gráfica indica las estaciones en las que actualmente se están registrando datos de CO_2 , estacional o mensualmente. Los estudios del CO_2 en el océano se iniciaron con un mayor rigor y frecuencia de muestreo a partir de 1989 con el proyecto JGOFS, estableciéndose por parte de los grupos de investigación americanos dos estaciones de series temporales, HOT en Hawaii y BATS en Bermudas. En 1994 y dentro del proyecto JGOFS alemán, las instituciones oceanográficas alemanas conjuntamente con el ICCM y el IEO establecieron la estación ESTOC, en la que el grupo QUIMA-ULPGC fue invitado a participar en 1995 como responsables de las medidas de CO_2 .

En la estación ESTOC el grupo QUIMA-ULPGC dispone en la actualidad de un registro mensual de más de quince años de los parámetros del sistema del dióxido de carbono. Los estudios (1995-2010) indican que la $p\text{CO}_2$ y el carbono inorgánico total

disuelto muestran un aumento de $1.98 \mu\text{atm yr}^{-1}$ y $0.94 \mu\text{mol kg}^{-1} \text{ yr}^{-1}$, respectivamente, indicando un control directo del aumento de la concentración de CO_2 atmosférico sobre la química del carbono oceánico. Los datos de pH confirman el descenso del pH de las aguas superficiales del Atlántico Este, con una disminución interanual de 0.0019 unidades de pH. El sistema de CO_2 en la estación ESTOC funciona de la siguiente forma. De junio a noviembre la pCO_2 del agua de mar es mayor que la pCO_2 de la atmósfera y el sistema actúa como una fuente, potenciado por los vientos. De diciembre a mayo la situación es diferente y el océano actúa como un sumidero. A nivel anual, el sistema trabaja como si fuera un ligero sumidero, captando CO_2 . Las predicciones realizadas para la zona a través de modelos globales coinciden con los valores obtenidos experimentalmente en la estación ESTOC.

Los estudios realizados en la estación ESTOC por la ULPGC, y los de las estaciones HOT y BATS han sido considerados como un importante aporte a la comunidad científica internacional y los datos de pCO_2 y pH han sido incluidos en el Cuarto Informe del Intergubernamental Panel of Climate Change, IPCC, sobre cambios climáticos oceánicos y del nivel del mar, para indicar que como consecuencia del aumento del pCO_2 en las aguas superficiales oceánicas se está produciendo un descenso en el pH.

La participación del grupo QUIMA-ULPGC en el proyecto europeo del VII programa Marco EUROSITES (2008-2010) ha permitido, además, obtener registros diarios de pCO_2 y de pH a través de la instalación de unos sensores de pCO_2 y pH en una boya propiedad del ICCM que también participó en el proyecto, siendo el sensor de pH un diseño del grupo.

Los estudios de series temporales muestran la variación estacional e interanual en un punto del océano que puede ser representativo de una cierta región. La extrapolación a otras regiones debe ser sin embargo considerada con precaución. Para mejorar este estudio y poder contribuir a un mejor conocimiento oceánico, nuestro grupo participó en Proyecto del VI programa Marco Europeo CARBOOCEAN (2005-2009), instaló equipos automatizados en buques comerciales en una nueva línea de observación, conocida como QUIMA VOS line en el Atlántico Este, desde Inglaterra hasta Ciudad del Cabo. Estos equipos están constituidos por un termosalinógrafo, un sistema de medida de pCO_2 tanto en la atmósfera como en el agua de mar, un sensor de O_2 , varios sensores de Temperatura, un sensor de clorofila. Durante el proyecto CARBOOCEAN ha sido la empresa MSC quién ha colaborado con nuestro grupo permitiéndonos instalar en el interior de sus cargueros nuestros equipos. Resultado de esta colaboración tenemos datos mensuales de pCO_2 comprendidos en el periodo de Julio 2005 al 2008, en el Atlántico Este, tanto en el Norte como en el Sur. En el Atlántico Norte destaco la publicación en la que han participado todos los grupos dedicados al estudio del CO_2 en el Atlántico Norte, mostrando la alta variabilidad estacional y espacial en los flujos de CO_2 en las distintas regiones.

Actualmente, dentro del VII Programa Marco de la Unión Europea estamos participando en el proyecto CARBOCHANGE que se inició en Marzo de este año. El proyecto CARBOCHANGE va a permitir seguir manteniendo la línea VOS desde UK a Ciudad del Cabo, en esta ocasión con la compañía naviera Maersk, pero además va a permitir también continuar con los estudios iniciados con el SIO de Moscow en el año 2009 en la región subpolar del Atlántico Norte, se inicia una colaboración con un grupo de Marruecos del INHR (Institut National de Recherche Halieutique) para realizar estudios en la zona del Afloramiento Nor-Africano y con el CSIR (Council for Scientific and Industrial Research, South Africa) para la comparación de datos en la región de Benguela.

Las emisiones futuras de gases efecto invernadero dependen de un complejo sistema dinámico determinado por el desarrollo demográfico, desarrollo socio-económico y los cambios tecnológicos. Estos factores se han tenido en cuenta en el IPCC, siglas que se corresponden con el grupo intergubernamental sobre cambio climático, cuyo objetivo principal consiste en reunir e integrar datos científicos, técnicos y socioeconómicos actualizados útiles a los gobiernos para la definición de políticas en relación con el cambio climático.

La gráfica muestra los posibles escenarios de emisión de CO₂, que van desde unos escenarios en los que se considera a una sociedad preocupada por su medio ambiente, a un escenario cuyo desarrollo económico se basa en el uso indiscriminado del petróleo. Superpuestas en la gráfica se representan las emisiones actuales. Como se puede observar en la misma a partir del año 2005 se han superado todas las previsiones, encontrándonos actualmente en el escenario correspondiente a las máximas emisiones de CO₂.

Con respecto a los datos del CO₂ en el océano, lo que los oceanógrafos han demostrado experimentalmente, con series de datos de más de quince años de estudios mensuales y es un hecho en el que no cabe discusión, es que el aumento de pCO₂ en la atmósfera está produciendo un aumento de pCO₂ en agua de mar y en la concentración del carbono inorgánico total con una disminución del pH y consecuentemente con cambios en la especiación del carbono inorgánico.

Lo que los oceanógrafos hemos comprobado es que en el océano Atlántico, en el Norte, lugar principal de hundimiento de masas de aguas, ha aumentado el contenido de carbono antropogénico, alcanzando profundidades de hasta 3500 m. En el Pacífico e Indico no llega a los 1000m. En cuanto a la acidificación, la disminución de 0.1 unidades producidas a partir de la revolución industrial ha producido un 30% del aumento de la acidez y una reducción del 16% en los carbonatos.

Las previsiones para el año 2100 indican que si se seguimos emitiendo a un ritmo que duplique o triplique las emisiones actuales de CO₂ el sistema del CO₂ en el océano se verá fuertemente afectado. Esto repercutirá en los procesos de calcificación pudiendo tener consecuencia en la respuesta de los organismos y en la dinámica de las

cadena trófica marina, y en la química de los metales traza y nutriente lo que podría modificar determinados ciclos biogeoquímicos.

Actualmente los científicos continuamos registrando los datos de CO₂, estos datos están todos incluidos en el CDIAC, además se ha elaborado un Atlas mundial de datos de pCO₂ en las aguas superficiales oceánicas, coordinados por el IOCCP y la COST Action 735, en el que la ULPGC ha contribuido con los datos correspondientes a las regiones 16 y 17 en el Atlántico Sur.

Al ser el océano una parte integral del sistema climático de la Tierra, entender el efecto invernadero y otros aspectos relacionados con el cambio global medioambiental requiere estudiar tanto el océano como la atmósfera y los ecosistemas terrestres. En este sentido la ULPGC participa en el consorcio ICOS-España que forma parte de la EFRI ICOS (Integrated Carbon Observing System). Red de estaciones e instituciones de cada una de las componentes la atmosférica, los ecosistemas terrestres y la oceánica. El objetivo de este proyecto es la obtención de una mejor cuantificación de los intercambios de gases de efecto invernadero, lo que permitirá tomar decisiones informadas a la hora de orientar las estrategias de mitigación a diferentes escalas espaciales, en particular las encaminadas a aumentar la eficacia de secuestro de carbono y actividades de reducción de emisión de gases de efecto invernadero.

Canarias es una de las regiones que dependen en un mayor porcentaje de la utilización del petróleo, necesitamos petróleo para la obtención del agua potabilizada, la electricidad y el transporte, relacionado con el turismo. Buscar alternativas que sean viables y rentables para Canarias y poner en práctica las ya existentes de forma que sean rentables constituye uno de los retos más importantes para nuestra sociedad.

Referencias

Boden, T.A., G. Marland, and R.J. Andres. 2010. Global, Regional, and National Fossil-Fuel CO₂ Emissions. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, Oak Ridge, Tenn., U.S.A. doi 10.3334/CDIAC/00001_V2010

Consejería de Medio Ambiente y Ordenación Territorial. Inventario de emisiones de gases de efecto invernadero en Canarias en el año 2005. Junio 2007.

Rodríguez C. et al. Fuel Processing Technology, 90, 204-211, 2009.

Global Carbon Project 2010; Data: Gregg Marland, Thomas Boden-CDIAC 2010; Population World Bank 2010

Global Carbon Project 2010; Updated from Le Quéré et al. 2009, Nature Geoscience; Canadell et al. 2007, PNAS.

González-Dávila, M., Santana-Casiano, J. M., González-Dávila, E. F. Interannual Variability of the Upper Ocean Carbon Cycle in the Northeast Atlantic Ocean. Geophysical Research letter, 2007.

González-Dávila, M., Santana-Casiano, J. M., Rueda, M. J., Llinás, O. The water column distribution of carbonate system variables at the ESTOC site from 1995 to 2004. Biogeosciences, 7, 3067-3081, 2010.

IPCC WG1 Fourth Assessment Report, 2007.

Santana-Casiano, J. M., González-Dávila, M., Rueda, M. J., Llinás, O. and González-Dávila, E. F. Inter-annual variability of oceanic CO₂ parameters in the North East Atlantic subtropical gyre at the ESTOC site, Global Biogeochem. Cycles, 2007.

Watson A. J. et al. Tracking the Variable North Atlantic Sink for Atmospheric CO₂. Science, 326, 1391-1393, 2009.