

# UN LADO MENOS CONOCIDO DEL CAMBIO CLIMÁTICO: LA ACIDIFICACIÓN DEL OCÉANO UN GRAN RETO PARA LA HUMANIDAD

# ATMOSPHERIC

# CO<sub>2</sub>

VICTORIA DÍAZ CASTAÑEDA  
CICESE, Departamento de Ecología Marina, Carretera Que  
maneada-Tijuana 3918, Ensenada, Baja California, CP 22860  
vidiaz@cicese.mx

MAY 2022 420.99  
MAY 2021 419.13  
MAY 2020 417.31  
Data: June 3, 2022

## RESUMEN

El océano es una parte integral del sistema climático global, absorbe calor y  $\text{CO}_2$ , ayudando a moderar el cambio climático y la acidificación de los océanos. El exceso de  $\text{CO}_2$  producido por actividades antropogénicas ha afectado la química del océano y provocado lo que conocemos como acidificación. Los ambientes marinos albergan una gran diversidad biológica que puede verse afectada negativamente por estas alteraciones. Entre los afectados están los organismos calcificadores como moluscos, corales, crustáceos entre otros. Se mencionan efectos del proceso de acidificación. Diversos grupos de investigación han desarrollado técnicas para evaluar efectos en la calcificación, aquí enumeramos algunas de ellas. Debido a que la disminución de pH altera el funcionamiento de enzimas y proteínas y los procesos de desarrollo larvario han surgido grupos de investigación trabajando en estos aspectos. Las investigaciones sobre los efectos de la acidificación nos permitirán hacer proyecciones de lo que puede suceder en un futuro cercano. Generar información sobre cuáles serán los grupos animales y vegetales más afectados y los más resistentes, puede ser de gran utilidad para tratar de preservar los ecosistemas marinos y las especies que sirven de alimento para los seres humanos. Las naciones deben hacer esfuerzos importantes y coordinados para tratar de mantener el incremento de temperatura debajo de  $2\text{ }^\circ\text{C}$  y evitar aumentar la concentración de  $\text{CO}_2$  en la atmósfera.



**Figura. 1** Observatorio de mediciones atmosféricas de NOAA ubicado en Hawaii, este año alcanzó un máximo de 421 ppm.

## INTRODUCCIÓN

Uno de los grandes retos de la humanidad será entender los alcances de otro aspecto del cambio climático: la tendencia a la acidificación del océano. Observamos cambios en el océano y estos pueden afectar la vida y su sustentabilidad en la Tierra.

Cuando pensamos en cambio climático se piensa generalmente en el incremento de la temperatura; sin embargo, un aspecto menos conocido del cambio climático es la tendencia a la Acidificación del océano. En la era preindustrial había un equilibrio en el intercambio de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) del océano a la atmósfera y viceversa de alrededor de 70 Gt de carbono/año, pero a partir de la Revolución Industrial se incrementó el flujo de  $\text{CO}_2$  a la atmósfera (Gattuso & Hansson, 2012). Esto debido a diversas actividades de origen antropogénico como la quema de combustibles fósiles, la producción de cemento, emisiones de diversas fábricas y la deforestación, entre otras (Canadell et al., 2007; Le Queré et al., 2009). La atmósfera interactúa con los océanos para regular el clima del planeta, esta interacción se está alterando debido al flujo de  $\text{CO}_2$  sobreimpuesto por el ser humano.

En nuestro planeta la concentración de  $\text{CO}_2$  se mantuvo entre 170-300 ppm en los últimos 800,000 años (Luthi et al., 2008), pero se ha incrementado progresivamente y actualmente ha rebasado los 420 ppm. Esta liberación masiva del carbono previamente almacenado incrementa el efecto invernadero y pone en peligro la estabilidad del clima terrestre (Orr, 2012).

En la comunidad científica hay preocupación de que estos cambios y la acidificación del océano impacten la

biodiversidad de los ecosistemas marinos y los bienes y servicios que brindan a los seres humanos.

Los océanos nos brindan grandes servicios al moderar el cambio climático absorbiendo calor y  $\text{CO}_2$ , pero al hacerlo surgen alteraciones como la acidificación, calentamiento y disminución de la concentración de oxígeno. Una parte del dióxido de carbono (29%) es absorbido por la biosfera terrestre (árboles, bosques, vegetación), mientras que otra parte (26%) es absorbida por el océano y el resto queda en la atmósfera.

Cuando se empezó a detectar la acumulación del  $\text{CO}_2$  en la atmósfera, se consideró que esto no generaría problemas debido a que los océanos son muy extensos, pero posteriormente se detectaron cambios en la química del agua marina. El Observatorio de Mauna Loa (Fig.1), ubicado en Hawaii a 3,400 m de altitud, inició mediciones de la concentración de  $\text{CO}_2$  en la atmósfera en 1958 por lo que tienen una serie de tiempo de 64 años. Estas mediciones de largo plazo del  $\text{CO}_2$  son fundamentales para entender qué está pasando y cómo ese aumento progresivo puede afectar a nuestro planeta.

Los científicos saben que el océano absorbe cada día 24 millones de toneladas de  $\text{CO}_2$ . Para ellos éste es un indicador preocupante porque diversas especies animales y vegetales, así como ecosistemas, pueden estar en riesgo por el exceso de emisiones de este gas. Sabemos que la acidificación de los océanos está causada por las emisiones de  $\text{CO}_2$  atmosférico derivado de actividades humanas.

Entre 1750 y 2000 los océanos absorbieron una tercera parte del  $\text{CO}_2$  de origen antropogénico; en este período el pH disminuyó ~ 0.1 unidades. Si no se hace nada, es

posible que en el año 2300 el pH disminuya 0.7 unidades (Zeebe *et al.*, 2008).

El pH es la medida de la acidez o alcalinidad de una solución. Los cambios en el pH tienen efectos importantes ya que afectan diversos procesos fisiológicos en los animales y plantas, principalmente los organismos calcificadores que producen estructuras de carbonato de calcio como los moluscos (ostiones, mejillones), equinodermos (erizos, estrellas de mar), crustáceos (camarones, langostas), corales, se verán muy afectados al tener dificultad para fabricar sus estructuras calcáreas

La disminución de pH altera el funcionamiento de enzimas y proteínas, así como los procesos de desarrollo larval. Se ha observado que también disminuye la sobrevivencia de peces al modificar su sentido del olfato, por lo que pierden la capacidad de detectar a sus depredadores (Munday *et al.* 2010). El bajo pH debilita los esqueletos de diversas especies dejándolos más expuestos a la depredación.

Cuando el océano capta el CO<sub>2</sub> hay una disminución del pH (se aumenta la acidez), se produce ácido carbónico y esto hace que se incremente la concentración de iones bicarbonato, y disminuya la disponibilidad de iones carbonato (Fig. 2). Estos últimos son necesarios para que los organismos marinos puedan fabricar esqueletos y conchas de carbonato de calcio. Muchos estudios han mostrado que, al aumentar la acidificación, la calcificación disminuye en varios grupos animales.

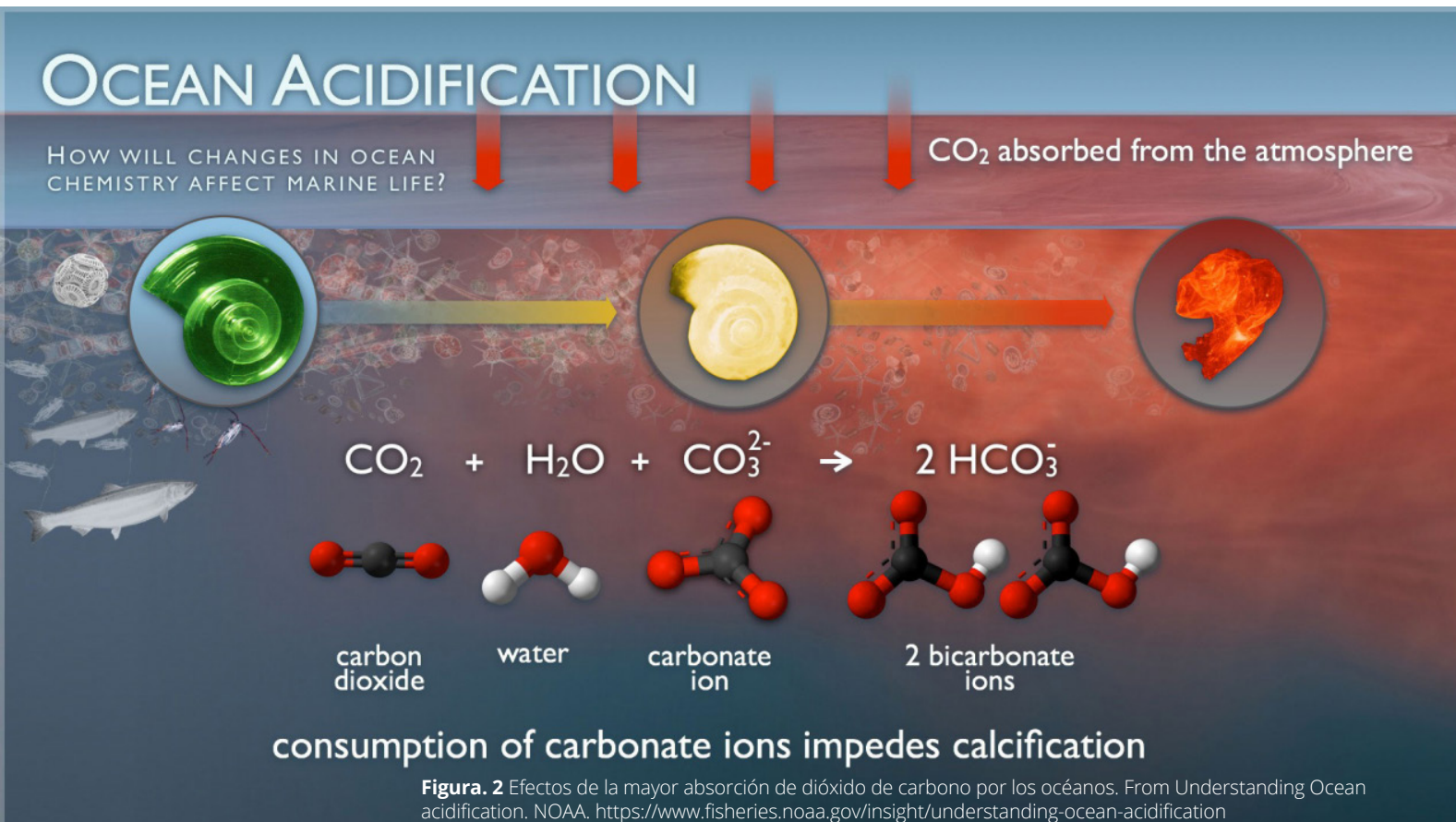
La calcificación es un proceso biológico activamente controlado, por el cual organismos como los corales, equinodermos, crustáceos y los moluscos producen estructuras de carbonato de calcio, bajo la forma de

calcita o aragonita. Estos son polimorfos de carbonato de calcio, es decir su fórmula química es igual, solo difieren en la forma de los cristales.

La acidificación resta capacidad a los animales y algas para producir sus estructuras calcáreas e incrementa el gasto energético. Algunos organismos como el anélido marino *Hydroides elegans*, cuando son juveniles, producen su primer tubo de aragonita (que se disuelve fácilmente en condiciones de acidificación) y luego fabrican uno de calcita. Esto los hace muy vulnerables a la acidificación del océano (Kroeker *et al.*, 2013, Chan *et al.*, 2012).

#### ALGUNAS TÉCNICAS QUE SE USAN PARA MEDIR LA CALCIFICACIÓN:

La técnica de Anomalía de alcalinidad se basa en que el valor de la alcalinidad total disminuye en dos unidades por cada mol de carbonato de calcio producido. La calcificación se mide antes y después de un período de incubación corto. Otra técnica consiste en marcar los animales con calceína, que es un colorante fluorescente que no los daña. Posteriormente, se colocan en el ambiente acidificado y por medio de fotografía y programas informáticos como Image J, se determina cuántos milímetros cuadrados (mm<sup>2</sup>) han calcificado en un cierto tiempo. La técnica de radio isótopos, se basa en el calcio se absorbe en los componentes de la estructura calcárea del organismo, la absorción de calcio se mide usando elementos radio marcados como <sup>45</sup>Ca o <sup>14</sup>C para estimar la calcificación. En la técnica con Rayos X, se mide la densidad y la masa del esqueleto, lo que nos da una medida directa de la calcificación. Por último están las técnicas moleculares que se basan en que la genética controla el proceso de calcificación por lo que se mide la actividad de genes que sabemos están involucrados en la calcificación o biomineralización.



En el CICESE (Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada) recientemente se creó el Laboratorio de Estudios Multidisciplinarios de Organismos Acuáticos (LEMOA), que une los conocimientos y las capacidades de investigadores de la División de Oceanología y la División de Biología Experimental y Aplicada. Este Laboratorio nos permite llevar a cabo estudios sobre el efecto de la temperatura y la acidificación en animales y plantas acuáticas. La temperatura y el pH han sido reconocidos como factores capaces de afectar los sistemas biológicos a diferentes niveles de organización por lo que es importante su estudio (Kroeker *et al.*, 2013). El proceso de calcificación de diversos organismos es muy sensible a la concentración de iones carbonato. El doble de la presión parcial de  $\text{CO}_2$  causa 9 a 29% de reducción de la calcificación (Pelejero *et al.*, 2010). Este tipo de instalaciones experimentales nos permitirán determinar que grupos presentarán mayores afectaciones, cuales son los efectos de la sinergia incremento de temperatura y acidificación y poder hacer predicciones para diversas especies.

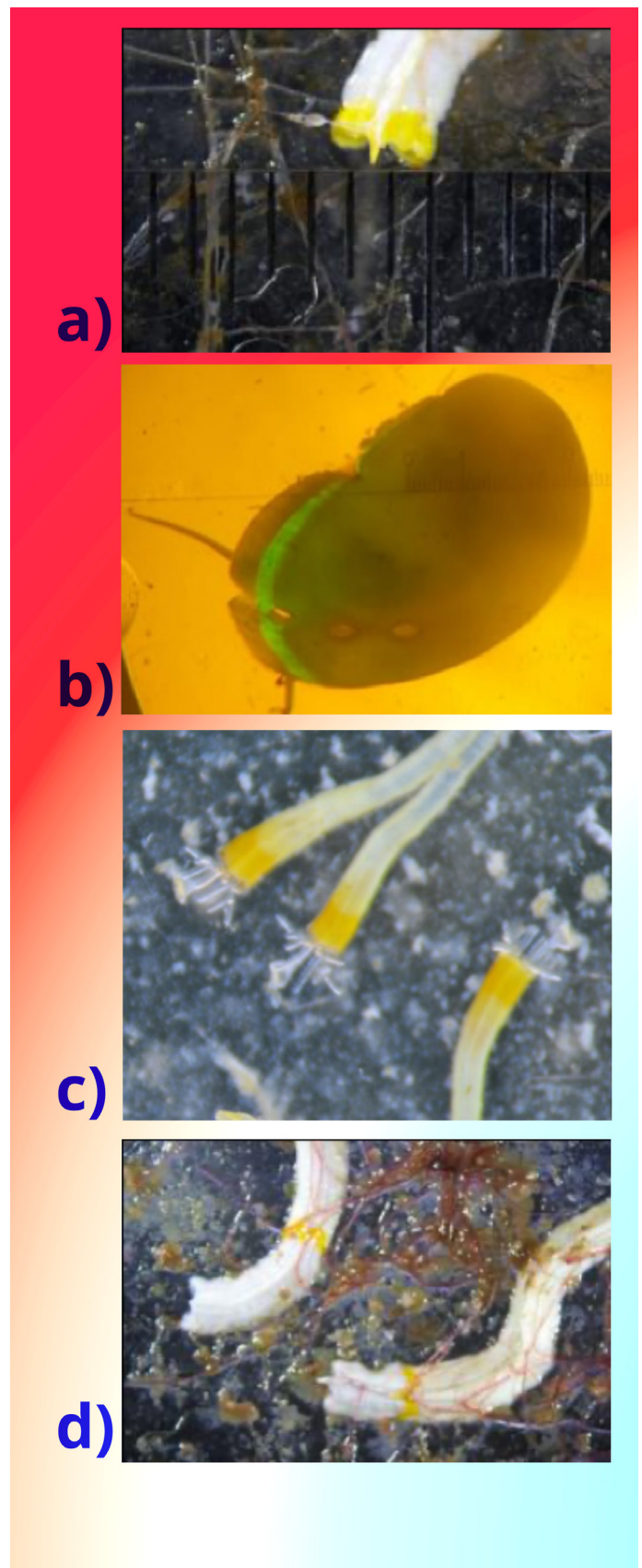
Se ha encontrado que, para muchos organismos marinos, sus gametos, fases larvianas, juveniles y adultos pueden verse afectados de manera diferente por la acidificación del océano (Byrne *et al.* 2011 a, b; Chan *et al.*, 2012, Díaz-Castañeda *et al.*, 2019); por tanto, es crucial considerar los impactos sobre la supervivencia y la reproducción a lo largo de su ciclo de vida. En general, los estudios sugieren que las fases tempranas podrían ser más sensibles a la acidificación oceánica (Kroeker *et al.*, 2013).

Para efectuar este tipo de estudios es importante manejar los niveles de pH con una buena precisión, esto podemos hacerlo en el LEMOA.

Derivado de diversos estudios, entre ellos Magnan *et al.* (2015) sabemos con certeza que la acidificación de los océanos está causada por las emisiones de dióxido de carbono atmosférico derivado de actividades humanas. Ahora ya es tiempo de actuar para limitar las consecuencias.

Las condiciones futuras del océano dependerán de la cantidad de  $\text{CO}_2$  emitido a la atmósfera en los próximos años por las actividades humanas. Los países debemos hacer esfuerzos importantes y coordinados para tratar de mantener el incremento de temperatura debajo de  $2\text{ }^\circ\text{C}$  y evitar aumentar la concentración de  $\text{CO}_2$  en la atmósfera.

Llevar a cabo investigaciones sobre los efectos de la acidificación y otros aspectos del cambio climático (temperatura, desoxigenación) en diversos organismos nos permitirá hacer proyecciones de lo que puede pasar en un futuro cercano. Generar información sobre cuáles serán los taxa más afectados y los más resistentes, puede ser de utilidad para la pesca y la acuicultura. En suma, podemos evaluar el potencial de adaptación de diferentes especies de importancia económica y ecológica y plantear estrategias de mitigación.



**Figura. 3** Ejemplos de organismos marcados con el colorante fluorescente calceína:  
**a)** Serpúlido *Spirobranchus triqueter* recién marcado con calceína;  
**b)** Después de 3 meses en experimento de acidificación;  
**c)** Juveniles de *Spirobranchus* recién marcados;  
**d)** Juvenil de abulón rojo *Haliotis rufescens*



## LITERATURA CITADA

- Byrne, M. 2011a. Unshelled abalone and corrupted urchins, development of marine calcifiers in a changing ocean. Proceedings of the Royal Society Series B. DOI: 1098/rspb.2010.2404
- Byrne, M. 2011b. Oceanography and Marine Biology: An Annual Review, 49: 1-42.
- Chan, V. et al. 2012. CO<sub>2</sub> driven ocean acidification alters and weakens integrity of the calcareous tubes produced by the serpulid tubeworm *Hydroides elegans*. PLoS ONE 7: e42718
- Canadell, J., Le Queré, C. Raupach, M.R. et al Contributions to accelerating atmospheric CO<sub>2</sub> growth from economic activity, carbon intensity and efficiency of natural sinks. Proceedings Natural Acad. of Sciences, USA, 104, 18866-18870.
- Díaz-Castañeda, V. T.E. Cox, F. Gazeau, S. Fitzner, J. Delille, S. Alliouane & J.P. Gattuso. 2019. Ocean acidification affects calcareous tube growth in adults and reared offspring of serpulid polychaetes. J. of Experimental Biology 222: 1-11.
- Gattuso, J.P. & L. Hansson. 2012. Ocean Acidification. Oxford University Press. 326 pp.
- Kroeker, K., R. Kordas, R. Crim, I. Hendriks, L. Ramajo, G. Singh, C. Duarte & J.P. Gattuso. 2013. Impacts of ocean acidification on marine organisms: quantifying sensitivities and interaction with warming. Global Change Biology 19: 1884-1896.
- Le Queré, C. Raupach, M.R., Canadell, J et al. 2009. Trends in the sources and sinks of carbon dioxide. Nature Geoscience, 2, 831-836.
- Luthi D., M. Le Floch, B. Bereiter et al. 2008. High resolution carbon dioxide concentrations record 650,000 – 800,000 years before present. Nature 453: 379-382.
- Magnan A., R. Billé, S. Cooley, R. Kelly, H. Otto Portner, C. Turley & J.P. Gattuso. 2015. Intertwined ocean and climate implications for international climate negotiations. IDDRI 4 pp.
- Munday, P., D. Dixon, M. McCormick, M. Meekan, M. Ferrari & D. Chivers. 2010. Replenishment of fish populations is threatened by ocean acidification. Proc National Acad Sciences, 107 (29): 12930-12934.
- Orr, J.C. 2012. Recent and future changes in ocean carbonate chemistry. In: Ocean Acidification. Oxford University Press. p 41-66.
- Pelejero, C., E. Calvo & O. Hoegh-Guldberg. 2010. Paleoperspectives in ocean acidification. Trends in Ecology and Evolution 25 (6): 332-343.
- Zeebe R.E., J.C. Zachos, J. Caldeira & T Tyrell. 2008. Oceans: carbon emissions and acidification. Science, 321: 51-52.