

A ACIDIFICACIÓN OCEÁNICA: O OUTRO PROBLEMA DO CO₂

Maribel I. García-Ibáñez*

A atmosfera terrestre contén gases que absorben a radiación infravermella, os cales son coñecidos como gases de efecto invernadoiro. Entre eles destaca o dióxido de carbono (CO₂) xa que as actividades humanas teñen visto a aumentar gradualmente a súa concentración na atmosfera desde a Revolución Industrial (1750). Porén, non todo o CO₂ antropoxénico (de orixe humana) permaneceu na atmosfera, parte del foi absorbido polo océano e pola biosfera terrestre, minorando deste xeito o aumento do CO₂ atmosférico e, polo tanto, o quecemento debido a este gas. Pero esta absorción polo océano levou a unha serie de cambios químicos coñecidos colectivamente como “acidificación oceánica”, entre os que se inclúen a diminución do pH e o aumento da disolución do carbonato cálcico, compoñente fundamental das cunchas dos organismos mariños. Estes cambios poden modificar os principais ciclos bioxeoquímicos mariños, polo que a acidificación oceánica ten o potencial de afectar dramaticamente a organismos e a ecosistemas mariños.

O CO₂ E O PH DAS AUGAS

Cando o CO₂ se dissolve en auga de mar reacciona con ela e forma ácido carbónico (H₂CO₃), que rapidamente se disocia en ións bicarbonato (HCO₃⁻), que, á súa vez, poden disociarse en ións carbonato (CO₃²⁻) (Fig. 1). Ambas reaccións de disociación producen ións hidróxeno e polo tanto reducen o pH da auga de mar, que representa o logaritmo da concentración de ións hidróxeno (pH = -log₁₀[H⁺]). No rango de pH do océano superficial (8.2 ± 0.1) existe unha concentración de ións carbonato relativamente elevada (Fig. 1). Porén, se o pH diminúe como resposta do incremento da concentración de CO₂, a concentración de ións carbonato decrece xa que estes actúan como “antiácido” natural da auga de mar. Estes ións son necesarios para o proceso de calcificación, mediante o cal se crean as cunchas e esqueletos calcarios de organismos como moluscos, corais e algunhas microalgas. O descenso da concentración de ións carbonato podería afectar a especies calcificadoras, ao verse obstaculizado progresivamente o proceso de calcificación a medida que a auga se acidifica.

Ademais, a acumulación de CO₂ nos organismos mariños tamén pode alterar outros procesos distintos da calcificación, podendo provocar cambios xerais na morfoloxía, no estado metabólico, na actividade física e

na reprodución dos organismos. O descenso do pH provoca tamén cambios na velocidade de propagación do son, o que podería afectar a organismos que utilizan a ecolocalización, como as baleas.

A absorción por parte do océano de ao redor do 30% do CO₂ emitido polo ser humano provocou un descenso medio do pH do océano superficial dunhas 0.13 unidades desde a Revolución Industrial (Caldeira e Wickett, 2003; Key et al., 2004), o que representa un aumento do 30% na concentración dos ións hidróxeno. Esta taxa de cambio de pH, que supera calquera coñecida durante os últimos centos de miles de anos, é a principal preocupación da comunidade científica. Estas mudanzas son tan rápidas que poden reducir de xeito significativo a capacidade tampón dos procesos naturais que amorteceron os cambios na química dos océanos na maior parte do tempo xeolóxico. Esta alta taxa de cambio tamén pode levar a que certas especies non poidan adaptarse o suficientemente rápido como para sobrevivir, alterando así as redes tróficas mariñas, o que, á súa vez, afectaría as pesqueiras.

ABSORCIÓN DE CO₂ E CIRCULACIÓN TERMOHALINA

Aínda que a acidificación oceánica ocorre nos océanos de todo o mundo, existen marcadas diferenzas rexionais debido aos diferentes procesos

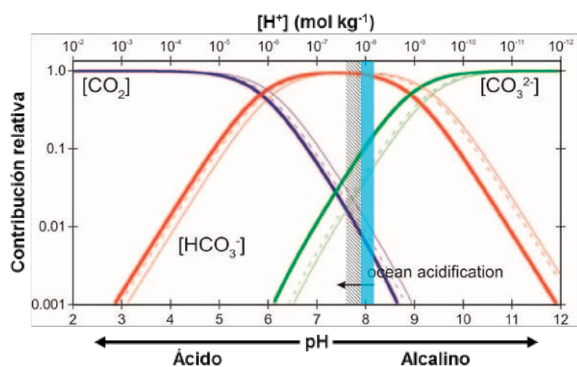
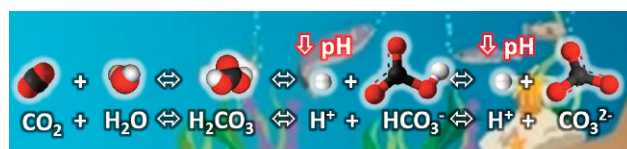


Figura 1. Na parte superior, reaccións do sistema do CO₂ na auga de mar. Na parte inferior, concentración das proporcións relativas de CO₂, ión bicarbonato (HCO₃⁻) e ión carbonato (CO₃²⁻) para o total de carbono inorgánico disolvido na auga do mar en diferentes salinidades (S), temperaturas (T) e presións (P) (curvas grosas para S = 35, T = 25°C, P = 0 dbar; curvas finas para S = 35, T = 0°C, P = 0 dbar; curvas descontinuas para S = 35, T = 0°C, P = 3000 dbar). A rexión sombreada en azul destaca os valores para a superficie do océano actual (media anual), e a rexión sombreada en gris destaca os valores para o ano 2100 tomada das proxeccións globais do modelo xeoquímico oceánico de Turley et al. (2010). Modificada por Barker e Ridgwell (2012).



Bateas de mexillón na costa galega.

que afectan ao sistema do CO₂ oceánico. Por exemplo, os efectos da acidificación oceánica tenden a ser máis severos nos océanos de latitudes altas debido ás súas baixas temperaturas superficiais (que propician unha maior disolución do CO₂ atmosférico), en combinación coa súa baixa capacidade tampón (que leva a maiores cambios de pH para unha perturbación de CO₂ atmosférico dada). Por outra banda, mentres que a concentración de CO₂ nas capas superficiais do océano aumenta con-

A acidificación oceánica é un problema detectado recentemente, aínda que as súas implicacións poderían chegar a ser tan importantes como as asociadas ao quecemento global

forme o fai a da atmosfera, a súa penetración no océano profundo depende da lenta mestura vertical da columna de auga. Aproximadamente, a metade do CO₂ antropoxénico atópase nos primeiros 400 m da columna de auga, mentres que a outra metade penetra cara as capas máis profundas. Con todo, nas rexións onde os movementos verticais son relativamente rápidos, como é o caso do Atlántico Norte, a escala temporal necesaria para a penetración profunda do CO₂ antropoxénico é da orde de décadas en lugar de séculos, polo que a exposición aos efectos da acidificación oceánica é máis rápida.

O Atlántico Norte (Fig. 2) leva sendo un sumidoiro de CO₂ desde antes da Revolución Industrial debido á acción da circulación termohalina. A circulación termohalina é o resultado dos cambios de densidade que sofren as augas oceánicas. No Océano Atlántico as augas superficiais do Hemisferio Sur flúen ata as latitudes polares do Hemisferio Norte na rama superior da circulación termohalina do Atlántico. Debido aos longos tempos de residencia nas rexións subtropicais e ecuatoriais, as augas frías procedentes do Hemisferio Sur quéntanse e salinizanse, e chegan practicamente a estar en equilibrio coas concentracións de CO₂ atmosféricas. Ao norte do arredor dos 15–20°N, estas augas comezan a arrefriarse ao ser transportadas pola corrente do Golfo, tendendo a captar máis CO₂

atmosférico. Gran parte destas augas chegan ao Xiro Subpolar do Atlántico Norte, ao Mar de Labrador, ao Océano Ártico e aos mares nórdicos, onde se densifican o suficiente como para afundirse e comezar unha viaxe sub-superficial cara ao sur en correntes de fondo que conforman a rama inferior da circulación termohalina do Atlántico, proceso coñecido como “circulación de retorno”. O efecto neto da circulación de retorno e da ventilación termohalina é a captación de CO₂ atmosférico e a liberación de calor cara á atmosfera. Polo tanto, a circulación termohalina xoga un papel fundamental na regulación do clima terrestre.

A ACIDIFICACIÓN DO ATLÁNTICO NORTE

Todo o anteriormente exposto motivou o estudo da acidificación e a circulación do Atlántico Norte levado a cabo na tese titulada “Acidificación e transporte de masas de auga e CO₂ no Atlántico Norte” que realicei no Instituto de Investigacións Mariñas de Vigo baixo a supervisión do Dr. Fiz Fernández Pérez. Un dos obxectivos desta tese foi estudar os cambios no equilibrio do sistema do CO₂ oceánico provocados pola

A medida que a auga se acidifica reduce o seu grao de saturación en carbonato, o que podería afectar gravemente a especies e organismos con estruturas calcarias

acidificación oceánica do Atlántico Norte no período 1981–2014. Para iso, empregáronse datos de medidas de pH e outros parámetros do sistema do CO₂ no océano tomados durante campañas oceanográficas levadas a cabo no Atlántico Norte (Fig. 2). O devandito estudo revelou que as augas das bacías do Irminger e Islandia gañaron CO₂ antropoxénico, o que provocou que toda a columna de auga de ambas as dúas bacías presentasen taxas significativas de descenso do pH. As maiores taxas de descenso do pH atopáronse nas capas superiores con niveis de -0.011 ± 0.002 unidades de pH por década. As augas profundas da bacía do Irminger presentaron unhas taxas de descenso do pH moi si-

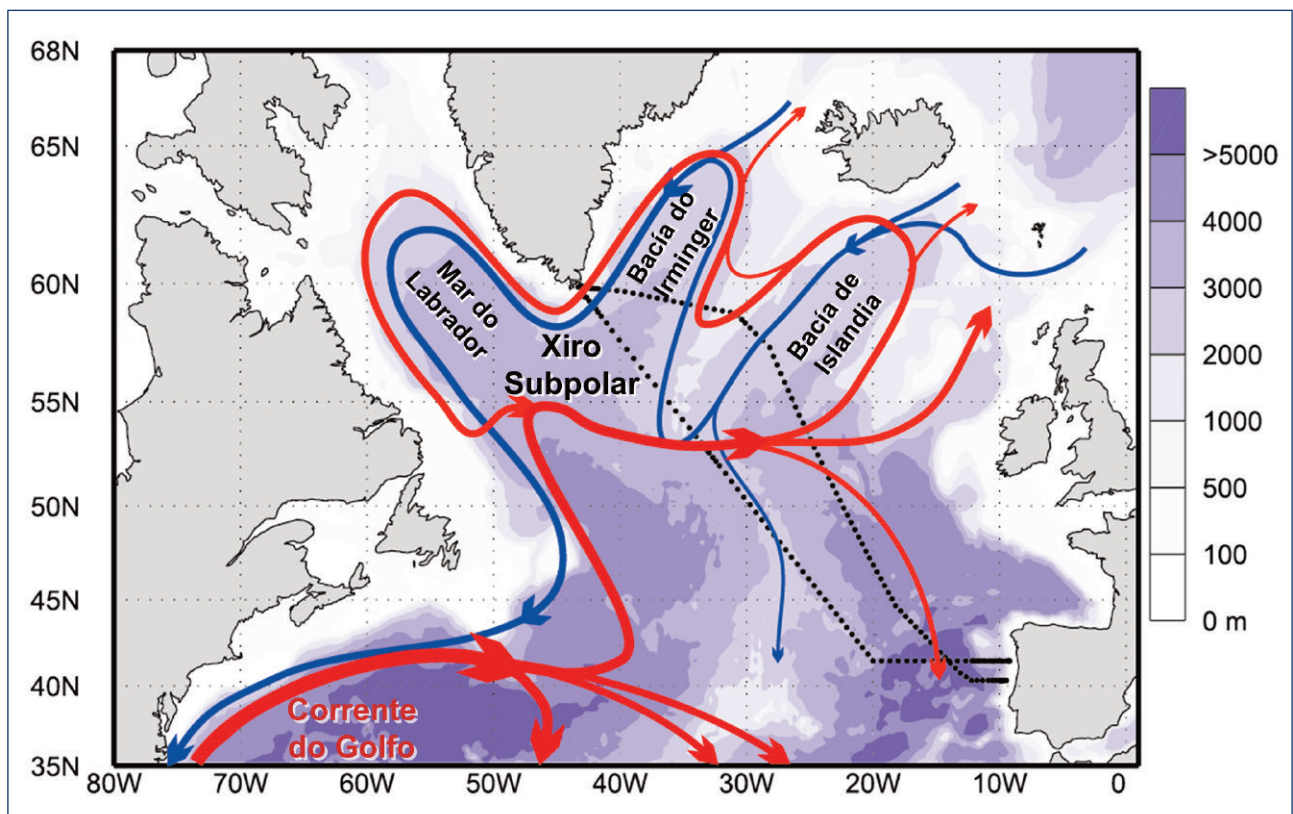


Figura 2. Esquema simplificado da circulación do Atlántico Norte. As frechas vermellas representan a rama superficial da circulación termohalina, e as azuis a rama inferior. Os puntos negros representan os puntos de mostraxe das campañas oceanográficas utilizadas no estudo.

milares ás das capas superficiais, resultado do seu recente contacto coa atmosfera. A avaliación dos compoñentes antropoxénico e natural dos cambios de pH revelou que os descenso de pH observados nas capas superiores de ambas as dúas bacías foron ao redor dun 25% menores aos esperados polo efecto antropoxénico. Isto explicase polo efecto da

Prevese que en 2065 toda a columna de auga das bacías do Irminger e Islandia estea subsaturada en aragonito, é dicir, que sexa corrosiva para as estruturas calcarias. En 2035, xa o será en profundidades intermedias do Atlántico Norte

chegada de augas subtropicais, o que constitúe un compoñente natural. En cambio, nas profundidades intermedias da bacía do Irminger, o envellecemento das augas reforzou a acidificación derivada da captación do CO₂ antropoxénico, o que deu lugar a que a taxa de acidificación destas augas sexa un 34% maior que a esperada pola acción do compoñente antropoxénico.

Os descenso de pH observados dan lugar a que o grao de saturación de carbonatos, estudado como o grao de saturación de aragonito (unha das formas cristalinas do carbonato de calcio), mostre tendencias de descenso significativas en toda a columna de auga de ambas as dúas bacías. O grao de saturación mide o exceso de ións carbonato que hai na auga de mar. Cando o seu valor é maior que 100% (sobresaturación) é favorable á formación de estruturas calcarias, pois hai dispoñibilidade de ións carbonato, mentres que cando é menor que 100% (subsaturación) a auga é corrosiva para as estruturas calcarias, favorecendo a súa disolución. No océano existe unha estratificación ou gradiente vertical de concentración de ións carbonato, que decrece coa profundidade. A profundidade na cal o grao de saturación é do 100% coñécese como horizonte de saturación e separa as augas supersaturadas (arriba) das subsaturadas (abaixo). Os descenso do grao de saturación de aragonito no Atlántico Norte deron lugar a un ascenso do horizonte de saturación de ~10 m·ano⁻¹, o que provoca a exposición de organismos calcarios a augas corrosivas.

En base aos cambios de pH e do grao de saturación de aragonito observados durante o período 1981–2014, inferíronse os cambios esperados para final de século. Cando a concentración de CO₂ atmosférico alcance os 800 ppm (o dobre da concentración actual e prevista para 2065) espérase que o pH das capas superiores descenda ~0,31 unidades respecto aos valores da era preindustrial, o que supón un descenso tres veces meirande da amplitude do ciclo anual de pH superficial no que as especies viven. As capas profundas da bacía do Irminger sufrirán des-

censos de pH similares aos das capas superficiais. Estes descenso de pH alcanzados cando a concentración de CO₂ atmosférico sexa de 800 ppm darán lugar a que toda a columna de auga das bacías do Irminger e Islandia estea subsaturada en aragonito. Con todo, as profundidades intermedias alcanzarán o estado de subsaturación moito antes, concretamente cando a concentración de CO₂ atmosférico acade os 500 ppm (prevista para o ano 2035). A elevación do horizonte de saturación no Atlántico Norte podería ter consecuencias nefastas para as poboacións de corais de augas frías que as habitan e dos ecosistemas asociados que os sustenta.

CONCLUSIÓN

O continuo aumento da concentración de CO₂ na atmosfera debido as actividades humanas foi suavizado pola absorción oceánica. Pero, canto tempo vai seguir actuando o océano como sumidoiro deste gas de efecto invernadoiro? E, que consecuencias se esperan desta absorción de CO₂? A acidificación oceánica é un problema detectado recentemente, aínda que as súas implicacións poderían chegar a ser tan importantes como as asociadas co quecemento global. Os efectos socioeconómicos da acidificación oceánica poderían ser substanciais. A elevación do horizonte de saturación de carbonatos provocará que os corais de augas frías estean expostos a augas corrosivas, o que se prevé que diminúa os índices de calcificación provocando que a súa erosión supere a súa taxa de crecemento. A deterioración dos ecosistemas de arrecifes de coral así como das pesqueiras e das industrias recreativas que deles dependen podería provocar grandes perdas económicas. A longo prazo, os cambios na estabilidade dos arrecifes de coral poderían reducir a protección das costas que rodean. Por tanto, a acidificación oceánica é outra importante razón para reducir as emisións de CO₂ e evitar así o risco de que ocorran danos irreversibles nos océanos.

*Maribel I. García-Ibáñez é a autora da Tese "Acidificación e transporte de masas de auga e CO₂ no Atlántico Norte", realizada no Instituto de Investigacións Mariñas de Vigo.

REFERENCIAS

- Barker, S. e Ridgwell, A. (2012). *Ocean Acidification*. *Nature Education Knowledge* 3, 21.
- Caldeira, K. e Wickett, M.E. (2003). *Oceanography: Anthropogenic carbon and ocean pH*. *Nature* 425, 365–365.
- Key, R.M.; Kozyr, A.; Sabine, C.L.; Lee, K.; Wanninkhof, R.; Bullister, J.L.; Feely, R.A.; Millero, F.J.; Mordy, C. e Peng, T.H. (2004). *A global ocean carbon climatology: Results from Global Data Analysis Project (GLODAP)*. *Global Biogeochemical Cycles* 18, GB4031.
- Turley, C.; Eby, M.; Ridgwell, A.J.; Schmidt, D.N.; Findlay, H.S.; Brownlee, C.; Riebesell, U.; Fabry, V.J.; Feely, R.A. e Gattuso, J.P. (2010). *The societal challenge of ocean acidification*. *Marine Pollution Bulletin* 60, 787–792.



A acidificación oceánica podería supoñer grandes perdas económicas para o sector do mar.