

Jellyfish in the face of climate change: reproduction, blooms, and utilization

Medusas ante el cambio climático: reproducción, blooms y aprovechamiento

Mónica Reza¹ *

Resumen

Las medusas son organismos que a través del tiempo (más de 600 millones de años) han sobrevivido como grupo taxonómico, venciendo los desafíos geológico-ambientales del planeta gracias, entre otras cosas, a sus características fisiológicas, reproductivas, capacidad de adaptación y resiliencia. Y hoy en día ¿cómo responden ante el cambio climático? En el presente trabajo se explica muy brevemente qué es el cambio climático, qué tanto se trata de un ciclo natural y qué tanto es un efecto antropogénico, qué repercusiones tiene en los océanos y cómo afecta a los organismos marinos. Se hará especial énfasis y análisis en el efecto del cambio climático sobre las poblaciones de escifomedusas, sus proliferaciones masivas (blooms) y el potencial aprovechamiento que se podría hacer de ellas.

Palabras clave: Acidificación del mar, calentamiento global, estrategias reproductivas, florecimiento masivo, Medusozoa.

¹ Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. Instituto Politécnico Nacional 195, Playa Palo Santa Rita Sur, La Paz, Baja California Sur, 23096, México

*Autor de correspondencia: mreza@cibnor.mx

Abstract

Jellyfish are organisms that have survived over time (more than 600 million years), overcoming the planet's geological and environmental challenges due to, among other things, their physiological and reproductive characteristics, adaptive capacity, and resilience. But today, how do they respond to climate change? This paper briefly explains what climate change is, how much it is a natural cycle and how much it is an anthropogenic effect, what repercussions it has on the oceans, and how it affects marine organisms. Special emphasis and analysis will be placed on the effect of climate change on scyphomedusa populations, their massive proliferations (blooms) and the potential use that could be made of them.

Keywords: Blooms, global warming, Medusozoa, ocean acidification, reproductive strategies.

Qué es el Cambio climático

El clima del planeta ha cambiado a lo largo de su historia, presentando periodos fríos (glaciales) y cálidos (interglaciales) (Lüthi *et al.*, 2008). Sin embargo, los cambios observados desde 1950 no tienen precedente, pues está ocurriendo aproximadamente 10 veces más rápido que la tasa promedio anterior (Fig. 1) (NASA/GISTEMP, 2025). *Coincidentemente* la concentración de dióxido de carbono (CO₂) en la atmósfera también ha aumentado exponencialmente en el mismo periodo de tiempo (Fig. 2a), incrementando unas 250 veces más rápido después de la última Edad de Hielo (Fig. 2b) (MacFarling *et al.*, 2006). Estos cambios acelerados coinciden con el auge de la 2da revolución industrial, periodo en el que las industrias liberaban a la atmósfera gases con efecto invernadero, como dióxido de carbono (CO₂) y metano (CH₄) (León-Cobo *et al.*, 2024), por lo que hoy en día la mayoría de los científicos coinciden en que el incremento del CO₂ atmosférico está directamente relacionado con el incremento de la temperatura en el planeta, y el humano sería el responsable de acelerar el calentamiento global y el cambio climático (Doney *et al.*, 2009; Nat. Res. Coun., 2012).

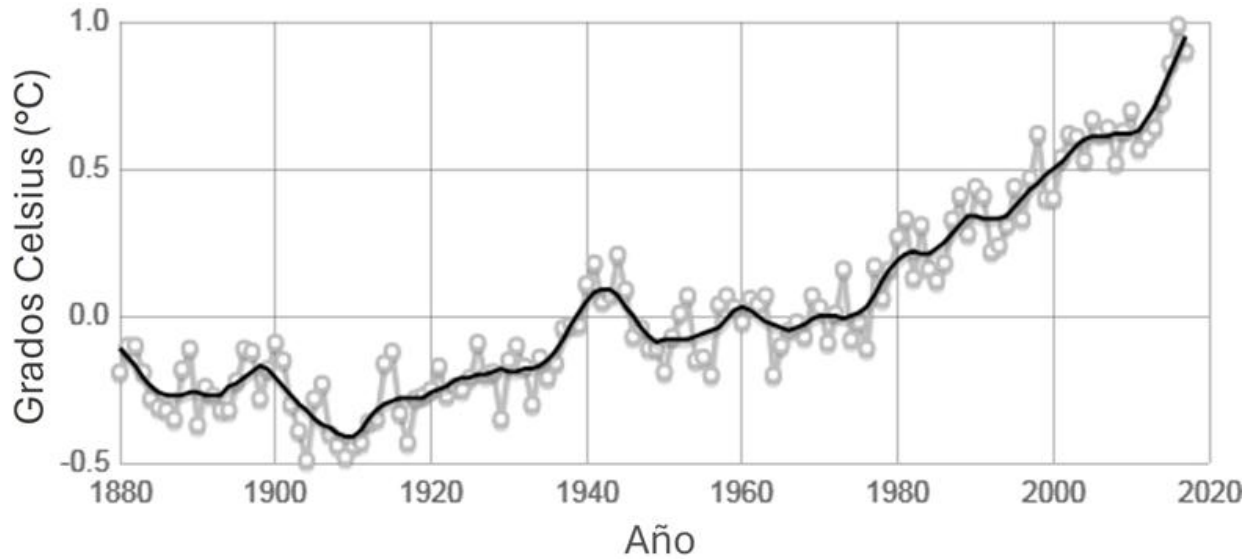


Figura 1. Cambios en la temperatura global a partir de la segunda revolución industrial (1880-2019) (Tomado y editado de NASA/GISTEMP, 2025).

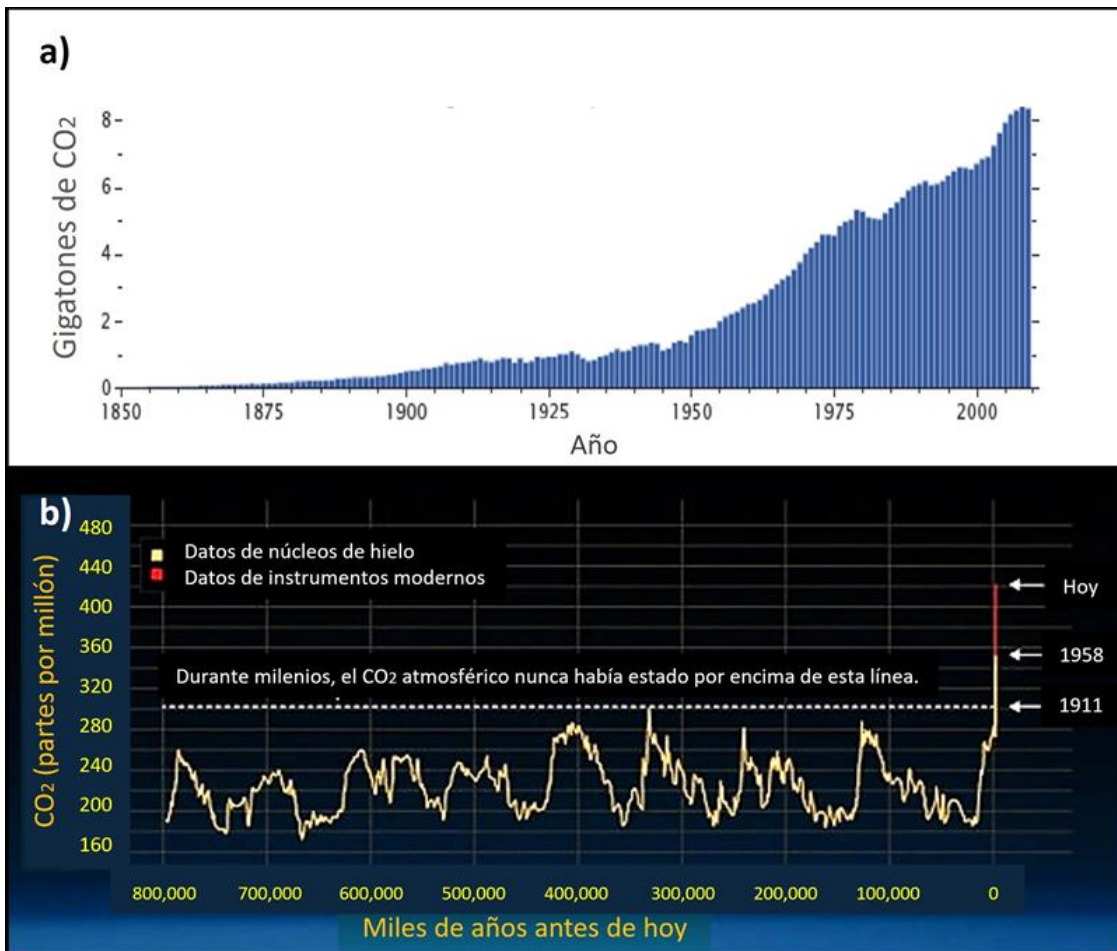


Figura 2. a) Emisiones globales de CO₂ (gigatonnes de carbono al año) a partir de la segunda revolución industrial (1850-2009) (Tomado y editado de Ghazouani, 2016), **b)** Concentración ambiental de CO₂ a lo largo de milenios (Tomado y editado de NASA, 2025).

La tierra, las plantas y el mar absorben carbono de la atmósfera, sin embargo, también lo liberan; y aunque absorben más de lo que liberan, no se alcanza a compensar la emisión industrial de carbono (ver <https://skepticalscience.com/human-co2-smaller-than-natural-emissions-basic.htm>) y alrededor de un 45% de los gases industriales permanecen en la atmósfera, alterando así cada vez más el equilibrio del CO₂ atmosférico y, en consecuencia, acelerando el calentamiento global (Nat. Res. Coun., 2012; Ummenhofer y Meehl, 2017).

Cómo afecta el cambio climático a organismos marinos

El calentamiento y acidificación del océano son de los principales factores responsables de estresar o modificar el ambiente marino, a sus organismos y a los ciclos biogeoquímicos (Baag y Mandal, 2022).

Con el calentamiento global también se da un aumento de temperatura en el mar, lo cual altera la producción primaria y secundaria, y modifica la densidad y distribución de las especies, alterando así la dinámica de las redes tróficas (León-Cobo *et al.*, 2024). El calentamiento del agua puede conducir a una disminución en el oxígeno subsuperficial, incrementando el riesgo de zonas hipóxicas o anóxicas, y puede también modificar la tasa de evaporación en los cuerpos de agua y los patrones de lluvia, con lo cual se ve afectada la salinidad del océano (Nat. Res. Coun., 2012).

Por otro lado, al incrementar la tasa de absorción del CO₂ en el mar, la química oceánica se ve afectada, pues la interacción del CO₂ con el agua disminuye el pH y se altera el equilibrio de carbonatos (Doney *et al.*, 2009; León-Cobo *et al.*, 2024; Needleman *et al.*, 2018; Thomas *et al.*, 2022). Y, al disminuir la disponibilidad de iones de carbonato, se presenta una disminución de la tasa de calcificación en los organismos formadores de conchas, así como una disminución en su tasa metabólica, desarrollo, crecimiento y sobrevivencia, presentando mayor sensibilidad las etapas tempranas de vida (Doney *et al.*, 2009; León-Cobo *et al.*, 2024; Thomas *et al.*, 2022).

La acidificación del océano continuará aumentando con el tiempo si las emisiones del CO₂ se mantienen, esta situación amenazaré a muchas especies, con el pronóstico de que afecte principalmente a organismos calcificadores como moluscos, equinodermos y arrecifes coralinos (Doney *et al.*, 2009; Thomas *et al.*, 2022). No obstante, no todas las formas de vida van a sufrir, parte del fitoplancton y otros organismos fotosintetizadores podrían verse beneficiados por los incrementos de CO₂ (Thomas *et al.*, 2022). También se ha visto que a la mayoría de las especies de

medusas estudiadas les favorece el incremento moderado de temperatura (Schiariti *et al.*, 2014) y responden exitosamente a ambientes cambiantes, en gran parte debido al ciclo de vida y estrategias reproductivas que tienen (Needleman *et al.*, 2018).

Medusas: Ciclo de vida y estrategias reproductivas

Las medusas de la clase Scyphozoa o escifomedusas también son llamadas “medusas verdaderas”, y es a las que se referirá en el presente artículo. La mayoría de las escifomedusas tienen un ciclo de vida con una fase planctónica con reproducción sexual, y otra fase bentónica con reproducción asexual (Lucas, 2001). La mayoría de las especies presentan una estrategia reproductiva que permite la producción rápida de grandes cantidades de individuos (Condon *et al.*, 2012). En general, las medusas adultas (por ejemplo, del género *Stomolophus*), liberan sus gametos al agua donde se fecundan y se desarrollan a larva (plánula) (Fig. 3). Estos desoves son masivos y durante estas temporadas de reproducción sexual se produce una enorme cantidad de larvas plánulas, Lucas y Dawson (2014) mencionan que en distintos trabajos se han contabilizado de 58 mil a 65 mil larvas por medusa al día. En algunas especies, como las del género *Aurelia*, estas larvas plánulas se forman dentro de la campana de la medusa, lo cual puede ocurrir en tan sólo un día (Dong *et al.*, 2014), después de lo cual se liberan al agua, donde buscarán el sustrato adecuado para fijarse y transformarse en pólipos (Fig. 3) (escifistomas o escifopólipos), lo cual, bajo condiciones idóneas, se puede dar en tan sólo 2 días; y un pólipo maduro, de aprox 15 días, se podría reproducir asexualmente para dar origen a un nuevo pólipo en tan sólo 1-3 días más (Dong *et al.*, 2014).

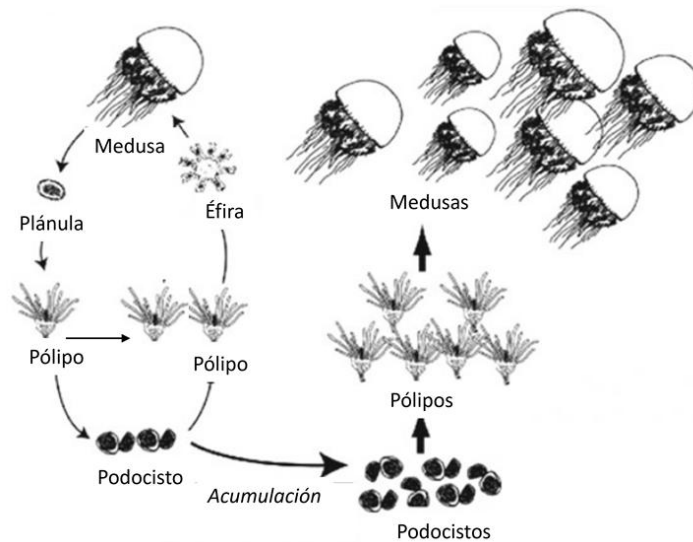


Figura 3. Esquema generalizado de la reproducción en escifomedusas (Tomado y editado de Kawahara *et al.*, 2013 En: Uye, 2014).

Algunas de las formas de reproducción asexual de los pólipos incluyen la gemación, donde se forman yemas clonales que surgen de un costado del cuerpo del pólipo, éstas se pueden liberar inmediatamente, teniendo la capacidad de desplazarse en el agua hasta encontrar un sustrato adecuado, o bien, pueden permanecer unidas al pólipo mientras se desarrollan hasta formar un nuevo organismo, después de lo cual se desprende. El pólipo también podría alargar una sección de su pie, dando origen a lo que se conoce como estolón, de donde se originará un nuevo pólipo. También podría dividirse a lo largo de sí mismo, y cada mitad se convertirá en un organismo completo. Ver Schiariti *et al.* (2014) para conocer los detalles de estas estrategias reproductivas.

Otra forma de reproducción asexual dará origen ya no a nuevos pólipos, sino a medusas, para lo cual los pólipos pasan por un proceso llamado estrobilación (Fig. 3), en el cual el pólipo se segmenta transversalmente y cada uno de los discos segmentados se transformará en un organismo con forma de estrella plana con una boca central, a esta forma o etapa del ciclo de vida se le llama éfira (Fig. 3). Dependiendo de la especie, un pólipo producirá una o más éfiras por evento reproductivo; se han reportado pólipos produciendo hasta 42 éfiras por evento, y se presentan varios eventos reproductivos al año, por lo que un solo pólipo puede llegar a producir más de 100 éfiras en el transcurso de dos meses, según lo documentado en *Rhopilema nomadica* (Lotan *et al.* 1992). Las éfiras formadas se desprenderán del pólipo e iniciarán su fase de vida pelágica, una vez liberadas inician su crecimiento y se desarrollarán a metaéfira, medusa juvenil y posteriormente medusa adulta, lo cual puede darse en 80 días, en el caso de *Aurelia* (Dong *et al.*, 2014). Las éfiras y medusas son planctónicas por lo que dan a la población un mayor potencial de dispersión (Condon *et al.*, 2012), y durante la fase medusa la reproducción es sexual por lo que aumenta el intercambio de genes entre poblaciones (Condon *et al.*, 2012).

Si nos basamos en los tiempos anteriormente mencionados, en menos de 4 meses, bajo condiciones óptimas, un solo huevo es capaz de dar origen a muchísimas medusas sexualmente maduras listas para desovar, lo que pone en evidencia el potencial que tienen estos animales para incrementar rápidamente su población. Además, las escifomedusas tienen tasas de crecimiento que son dos o tres veces mayores a las de animales no gelatinosos (Pitt *et al.*, 2013), por ejemplo, la medusa gigante, *Nemopilema nomurai*, se desarrolla de una éfira de 2 – 3 mm a un adulto sexualmente maduro mayor a 1 metro de diámetro y aproximadamente 95 kg en 6 –7 meses (Kawahara *et al.*, 2006). Desde luego, como todo en biología, las estrategias reproductivas, la cantidad de descendencia y la tasa de crecimiento, entre otras cosas, varía según la especie.

Además de las estrategias reproductivas mencionadas anteriormente, en algunas especies, como *Stomolophus* sp. y *Chrysaora quinquecirrha*, se presenta también la formación de podocistos, los cuales son quistes que se forman de la base pedal del pólipo, tienen una cubierta de quitina y en su interior contienen reservas energéticas y compuestos orgánicos. De estos podocistos emergen pequeños pólipos que se desarrollarán formando pólipos completamente activos y funcionales (Arai, 2009; Thein *et al.*, 2012). En *Stomolophus* se ha registrado que la tasa de producción de podocistos aumenta cuando aumenta también la disponibilidad de alimento junto con condiciones ambientales favorables para la especie (Hernández-Tlapale, 2010), así mismo, se ha reportado en *Chrysaora quinquecirrha* su capacidad de producir más de 50 podocistos en 3 meses (Cargo y Schultz, 1966 En: Lucas y Dawson, 2014).

Pero la formación de podocistos no es sólo otra estrategia de reproducción, también es una importante estrategia de sobrevivencia ante condiciones ambientales estresantes como pueden ser periodos de hipoxia, precipitación de sedimentos, periodos de inanición, cambios de temperatura y presencia de depredadores. Se ha registrado un incremento en la producción de podocistos en *Aurelia aurita* cuando los pólipos se someten a temperaturas mayores de las de su rango óptimo de temperatura (Thein *et al.*, 2012). Los podocistos son capaces de mantenerse en dormancia por más de 3 – 6 años según la especie (Arai, 2009), y cuando las condiciones ambientales, como temperatura, oxígeno, pH, salinidad, etc., son las adecuadas para la especie, emergen nuevos pólipos de estos podocistos (Arai, 2009; Thein *et al.*, 2012).

Todas estas estrategias hacen que las medusas persistan durante periodos de malas condiciones ambientales o escasas de recursos, y desarrollen su máximo desempeño reproductivo cuando estas condiciones mejoran, haciendo que los florecimientos masivos o “blooms” sean característicos de este grupo taxonómico.

Blooms y su efecto en el medio ambiente

Un *bloom* de medusas consiste en un incremento masivo en la biomasa y número de organismos de una especie (Fig. 4), sin embargo, después de unas semanas o meses, la población desaparece abruptamente debido a que las medusas adultas se hunden y mueren después de haber desovado (Lucas, 2001; Pitt *et al.*, 2014). Se trata de un evento natural que se ha presentado desde hace cientos de millones de años (Condon *et al.*, 2012). Actualmente existe la controversia de si estos blooms son o no son cada vez más abundantes y frecuentes en todo el mundo (Condon *et al.*, 2012; Pauly *et al.*, 2009), podría ser mera percepción del público y/o que exista una mayor documentación

de estos eventos (Condon *et al.*, 2012); basta con poner en el buscador “jellyfish bloom” o “jellyfish swarms” para encontrar lo que tal vez sean cientos de imágenes y reportes de blooms en distintas partes del mundo. El último registro hasta el momento fue a finales de junio del presente año, reportando bloom de la que aparenta ser *Pelagia noctiluca*, en Cape Town, Sudáfrica (O’Connor, R. 2025).

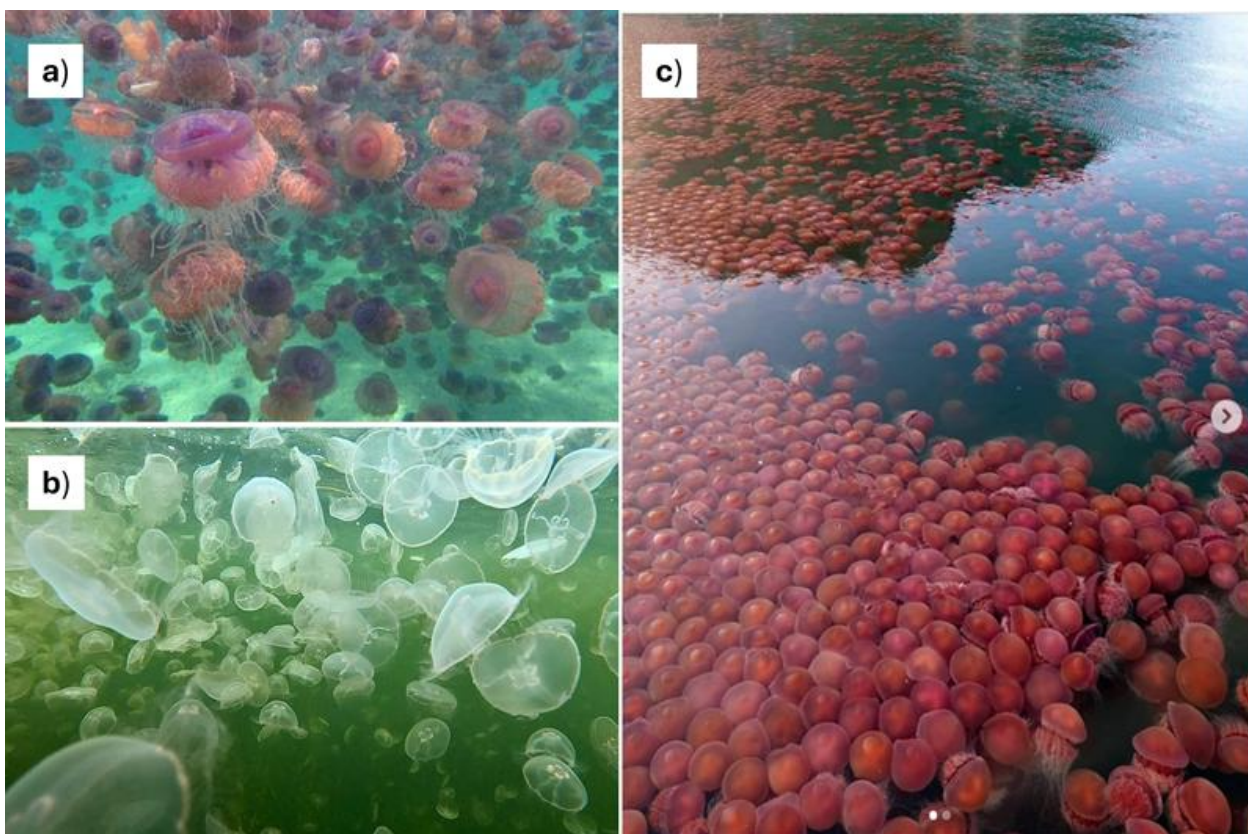


Figura 4. Blooms de medusas. a) Medusa coronada en costas de Egipto, Mar Rojo (Tomado de HEPCA, 2011), b) Medusa luna en costa de Dinamarca, Mar Báltico (Tomado de Loctier y Euronews, 2024), c) Medusa rosa o tomate en Filipinas, Mar de China (Tomado de McCall, 2020).

Tal vez uno de los servicios más importantes de las medusas, en especial durante la aparición de estos blooms, es la contribución en la regulación del clima a través del secuestro de carbono y el transporte de éste a través de la columna de agua (Doyle *et al.*, 2014). Las medusas liberan grandes cantidades de desechos orgánicos disueltos ricos en carbono, y durante el periodo de mortalidad masiva, al final del bloom, se da una importante acumulación de carbono en el lecho marino. Sin embargo, la respiración microbiana asociada a la descomposición de las medusas puede causar una demanda de oxígeno excesiva que puede resultar en sitios de hipoxia o anoxia (Pitt *et al.*, 2009). Así mismo, la acumulación de medusas en la superficie del mar durante el Bloom (Fig. 5), bloquea el paso del oxígeno atmosférico, y a su vez las medusas consumen el oxígeno superficial, por lo que

la cantidad de oxígeno disuelto en la columna de agua disminuye (Pitt *et al.* 2009). Estos animales, en su fase medusa, contribuyen a mezclar el agua de distintas capas del mar mientras se desplazan por la columna de agua; debido a su tipo de natación por contracciones contribuyen a distribuir el calor, sales, oxígeno y nutrientes (Doyle *et al.*, 2014).



Figura 5. Acumulación de medusas en la superficie del mar (Tomado de Shiffman, 2022).

Un bloom representa un fuerte impacto ecológico al haber una presencia masiva de depredadores voraces (Lucas, 2001); la mayoría de las medusas son carnívoras y se alimentan de una gran variedad de zooplancton, incluyendo copépodos, larvas véliger, huevos y larvas de peces (Álvarez-Tello *et al.*, 2015). Pero, además, no sólo afectan a las especies que consumen, también son fuertes competidores por alimento de otros peces y organismos zooplanctívoros (Lucas, 2001). Por otro lado, las medusas liberan grandes cantidades de compuestos nitrogenados, que contribuyen hasta en un 8% de los requerimientos de N del fitoplancton (Pitt *et al.*, 2009). Así que las medusas contribuyen también a regular y equilibrar la biodiversidad y, además, funcionan también como refugio para peces juveniles e invertebrados (Arai, 1997; Masuda, 2009) y como alimento de otros animales (Pauly *et al.*, 2009).

Registros de blooms de escifomedusas en distintas zonas geográficas, y su posible relación con el cambio climático.

Algunos de los blooms de medusas más importantes que se han observado involucran especies presentes en zonas fuera de su rango de distribución típico, en distintas épocas o por periodos más prolongados y con mayor frecuencia, lo que en distintos estudios se ha sugerido, será cada vez más frecuente por el cambio climático (Hashim *et al.*, 2022; Needleman *et al.*, 2018; Purcell *et al.*, 2012).

En el Mar de Japón se presentan blooms de la medusa más grande que existe, la medusa gigante *Nemopilema nomurai*, la cual llega a medir hasta 3.5 m en su campana, más el largo de sus tentáculos que se pueden extender por varios metros; estos blooms son cada vez más frecuentes y abundantes (con capturas de más de 1500 medusas al día) (Kawahara *et al.*, 2006). Este cambio se atribuye a cambios ambientales en la región, ya que se ha observado que con un ligero incremento de temperatura (+1.7 °C) la tasa de reproducción asexual en los pólipos de esta especie se acelera en un 20%, por lo que el calentamiento global podría estar promoviendo la reproducción de los mismos, y eventualmente traería como consecuencia blooms que inician antes de la temporada habitual y duran más tiempo (Thein *et al.*, 2012; Uye, 2014). Esto coincide con lo encontrado en otras especies como *Chrysaora pacifica* y *Cyanea nozakii*, las cuales también presentan poblaciones de pólipos más abundantes a mayores temperaturas (Thein *et al.*, 2013).

En el Mar Mediterráneo se presentan blooms de aproximadamente 12 diferentes especies de escifomedusas, siendo la más frecuente *Pelagia noctiluca*. Esta especie es abundante entre los 10 y 30 m de profundidad, coincidiendo con la haloclina / picnoclina superior y la presencia de altas concentraciones de plancton (Canepa *et al.*, 2014). A su vez, en el Mar de Bering se ha documentado que las 5 especies más abundantes también responden a condiciones físicas ambientales y a la disponibilidad de alimento, ya que su distribución horizontal, a mayor o menor densidad, es proporcional a la productividad de la zona; y la biomasa y densidad poblacional es mayor a menor profundidad (distribución vertical) (Decker *et al.*, 2014). Al parecer, a pesar de su distancia, tanto en el Mar de Bering como en el Mediterráneo, los organismos de menor talla se encuentran en las zonas profundas y migran a la superficie cuando son de mayor tamaño (Canepa *et al.*, 2014; Decker *et al.*, 2014), probablemente para agruparse y reproducirse de manera sexual. Se sabe que esta migración, así como la reproducción y el crecimiento, tienen relación directa con factores ambientales, tales como salinidad del agua, productividad y/o disponibilidad de alimento, y cambios de temperatura.

En el Mar Amarillo se ha reportado la presencia de 35 especies de escifomedusas, de las cuales *Aurelia aurita* es la que presenta blooms más abundantes y de mayores repercusiones, llegándose a extraer más de 4,000 toneladas de esta medusa en un mes (Dong *et al.*, 2014). Además de sus estrategias reproductivas y rápido desarrollo, *A. aurita* es sumamente exitosa debido a su amplio rango de tolerancia a la temperatura y salinidad (Lucas, 2001; Purcell *et al.*, 2012), así como alta tolerancia a bajas concentraciones de O₂ disuelto, logrando sobrevivir en aguas hipóxicas y anóxicas (Lucas, 2001). Se ha correlacionado el inicio de la estrobilación con el descenso en la temperatura, al menos como estímulo inicial (Lucas, 2001; Purcell *et al.*, 2012; Thein *et al.*, 2012), así como con cambios en el nivel de irradiancia y disponibilidad de alimento (Lucas, 2001); y el amplio rango de tolerancia antes mencionado, les permite tener temporadas reproductivas más largas, registrándose en algunas zonas (Japón, Micronesia y Canadá) períodos prolongados o semicontinuos de estrobilación, lo cual se ve reflejado en la presencia de éfiras y medusas en la columna de agua durante gran parte del año (Lucas, 2001; Purcell *et al.*, 2012). Además, se ha registrado que esta especie acelera su producción de pólipos por gemación y podocistos cuando aumenta la temperatura (Purcell *et al.*, 2012; Thein *et al.*, 2012), efecto que también se ha registrado en especies como *Rhizostoma pulmo* y *Cotylorhiza tuberculata* (Purcell *et al.*, 2012); por lo que el calentamiento global podría beneficiar la proliferación de las colonias de pólipos de varias especies.

En el Golfo de California se presentan importantes blooms de *Stomolophus* sp. (Medusa Bola de Cañón), habiéndose registrado la extracción de hasta 80 mil toneladas al año (IMIPAS, 2023). Se cree que algunas de las razones que promueven estos blooms son la disponibilidad abundante de alimento, la corriente hacia el norte que promueve la acumulación de medusas y la temperatura cálida en la zona (20-29 °C). Se ha observado que la sobrevivencia de pólipos *Stomolophus*, así como su reproducción asexual (estrobilación y podocistos) es mayor conforme aumenta la temperatura, casi duplicando la cantidad de estróbilas e incluso con mayor liberación de éfiras por pólipo (Hernández-Tlapale, 2010), por lo que el aumento de temperatura en el mar, debido al calentamiento global, podría estar promoviendo el fuerte incremento en la densidad de estos blooms.

A pesar de los ejemplos mencionados, al parecer la respuesta ante el cambio de temperatura está relacionada a la zona en donde habitan los organismos, es decir, a las temperaturas a las que estén adaptados. Así, pólipos que habitan en zonas con cambios estacionales muy marcados estrobian cuando baja la temperatura, pólipos en zonas boreal y templada registran mayor producción de éfiras cuando aumenta la temperatura, y especies de zonas cálidas presentan su mayor producción de éfiras cuando la temperatura del agua está intermedia dentro del rango de temperatura de la

región (Purcell *et al.*, 2012). Sin embargo, también se puede encontrar distintas respuestas entre especies de las mismas latitudes, por ejemplo, pólipos en zonas templadas como *Rhopilema esculentum* y *Cyanea capillata* aumentan su producción de podocistos cuando aumenta la temperatura (Brewer y Feingold, 1991 y Lu *et al.*, 1997 En: Thein *et al.*, 2012); mientras que especies como *Chrysaora quinquecirrha* produce más podocistos sólo cuando la temperatura disminuye (Cargo y Schultz, 1967 En: Thein *et al.*, 2012). Así que, por lo visto, el calentamiento global favorecerá de distinta manera a algunas especies de algunas regiones.

Además del calentamiento global, también se encuentra relacionado al cambio climático la acidificación del mar. Existen pocos estudios sobre el efecto de este fenómeno en las medusas, sin embargo, se ha visto que, a diferencia de la mayoría de los organismos marinos, las poblaciones de medusas aumentan conforme se acidifica el mar (Attrill *et al.*, 2007). Se ha registrado que los pólipos de varias especies son capaces de sobrevivir en ambientes acidificados, sin embargo, a menor pH éstos forman éfiras más pequeñas (Winans y Purcell, 2010). En su fase pelágica las medusas poseen unas pequeñas estructuras sólidas-cristalinas llamadas estatolitos, que tienen la función de dar el sentido del equilibrio y orientación en la columna de agua. La mayoría de los estatolitos de organismos marinos están compuestos por carbonato de calcio (CaCO_3), por lo que la baja disponibilidad de iones de carbonato en el medio podría afectar su composición, forma y tamaño; pero a diferencia de éstos, los estatolitos de las medusas están formados por sulfato de calcio hemihidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 0.5 \text{H}_2\text{O}$) y se encuentran dentro de unos sacos llamados estatocistos ubicados en los bordes de la campana (Sötje *et al.*, 2011 En: León-Cobo *et al.*, 2024). En medusas como *Rhizostoma pulmo*, se ha registrado que ni la temperatura ni la acidificación afectan el número de estatolitos producidos, sin embargo, a mayor temperatura se producen estatolitos más grandes, mientras que a mayor acidez estos cristales son ligeramente más pequeños, y, cuando ambas variables aumentan simultáneamente parece ser que el efecto de la acidificación mitiga parcialmente el impacto de la temperatura, por lo que el cambio en el tamaño de los estatolitos no es significativo (León-Cobo *et al.*, 2024). Esto también se ha visto en *Aurelia labiata* y *Cotylorhiza tuberculata* (Enrique-Navarro *et al.*, 2021; Winans y Purcell, 2010), lo cual se debe a que la presencia de sulfato en lugar de carbonato reduce la afectación que pudiera tener la acidificación del mar, además por estar dentro de los estatocistos, los estatolitos se encuentran aislados del medio, por lo que no se hidratan y su estructura permanece muy estable (León-Cobo *et al.*, 2024). Siendo así, el cambio climático (calentamiento global + acidificación del mar) no representaría una afectación importante para las medusas, al menos en cuanto a sus estructuras de equilibrio y orientación.

Existen otros factores que han contribuido a incrementar la densidad y frecuencia de los blooms de medusas, éstos están relacionados directamente a las actividades antropogénicas (Condon *et al.*, 2012; Hashim *et al.*, 2022; Lucas, 2001). Uno de los factores directos más evidentes es la translocación de especies (Condon *et al.*, 2012), lo cual puede ocurrir de manera no intencionada, trasladando organismos de mar a mar en el agua de lastre de las embarcaciones. También está el aporte de nutrientes al mar, tales como el nitrógeno inorgánico disuelto y el fósforo producidos por la agricultura, ganadería, residuos urbanos y actividad industrial; estos nutrientes favorecen la producción de fitoplancton, lo que a su vez favorece la producción de zooplancton y esto implica una mayor cantidad de alimento disponible para las medusas (Hashim *et al.*, 2022; Nat. Res. Coun., 2012). Estos cambios en la composición de nutrientes también promueven la presencia de marea roja, con la cual se presenta hipoxia o anoxia en ciertas zonas, esto es detrimental para varias especies, pero no para las medusas ni sus pólipos. La infraestructura marina (puertos, rompeolas, muelles, estructuras de acuicultura) y basura costera han brindado una mayor área de superficie para la fijación y asentamiento de los pólipos (Dong *et al.* 2014; Lucas, 2001). Y la disminución de competidores y depredadores, generalmente ocasionado por la sobrepesca, favorece también el crecimiento poblacional de cualquier especie de medusa (Condon *et al.*, 2012; Hashim *et al.*, 2022; Lucas, 2001; Pauly *et al.*, 2009).

Blooms: efectos económicos y potencial aprovechamiento

Es importante monitorear los blooms de medusa para tratar de entender sus causales, y así poder predecirlos y mitigar sus efectos adversos, y también aprovechar la presencia y abundancia de estos animales. Como efectos adversos, se han registrado importantes afectaciones económicas en varios sectores, tales como turismo, pesca y acuicultura. Por ejemplo, en el sector pesquero, la acumulación masiva de medusas obstruye y rompe las redes, dañan o matan los peces capturados, pican a los pescadores, y se incrementa el tiempo y esfuerzo de pesca (Hashim *et al.*, 2022; Kawahara *et al.*, 2006; Lucas, 2001; Lucas *et al.*, 2014). En la acuicultura, cuando se acumulan alrededor de las jaulas de cultivo, bloquean el flujo de agua causando daño a los peces por hipoxia e irritando su piel, ojos y branquias; además, cargan bacterias que al acumularse infectan y enferman a los organismos en cultivo (Lucas *et al.*, 2014). Y en cuanto al turismo, afecta a los bañistas de las costas turísticas, que gradualmente van buscando otras alternativas para vacacionar.

Sin embargo, se puede sacar provecho de la disponibilidad masiva de este recurso. Desde hace aproximadamente 1700 años, en algunos lugares de Asia como China, Japón y Corea del Sur, las personas consumen medusa de manera habitual, procesándola para snacks o utilizándola como ingrediente de ensaladas, sopas y otros platillos más elaborados (Brotz *et al.*, 2017; Duarte *et al.*, 2021; López-Martínez y Álvarez-Tello, 2013; Pauly *et al.*, 2009). Se han reportado 35 especies que pueden ser consumidas por el humano, la mayoría pertenecientes al orden Rhizostomeae, por tener un cuerpo y textura más firme (Brotz *et al.*, 2017; Duarte *et al.*, 2021).

Durante muchos años se había considerado a las medusas como un alimento de bajo valor nutricional debido a que su composición es principalmente agua (>95%) (Duarte *et al.*, 2021), sin embargo, estudios han demostrado que algunas escifomedusas (p.ej. de los géneros *Aurelia*, *Chrysaora*, *Pelagia*, *Rhopilema* y *Nemopilema*) pueden ser un buen complemento alimenticio en la acuicultura, considerándolas como un recurso sostenible y valioso debido a su alta concentración de aminoácidos derivados del colágeno (glicina, prolina, hidroxiprolina), adecuada proporción de metionina y lisina, presencia de taurina y ácidos grasos de cadena larga, y riqueza en minerales como Na, K, Cl, Mg, y Zn (Gatusso *et al.*, 2025). Además, sus tejidos pueden ser rápidamente digeridos y asimilados (Duarte *et al.*, 2021). También se ha observado que medusas como *Aurelia* y *Nemopilema* pueden funcionar como atractante en alimentos elaborados para peces (Gatusso *et al.*, 2025). Y no sólo se han utilizado como alimento para invertebrados y vertebrados marinos en cultivo, las medusas también han funcionado como alimento para varios tipos de animales terrestres como gallinas y puercos (Gatusso *et al.*, 2025).

También desde hace mucho tiempo atrás, en algunas regiones, las medusas se han utilizado como fertilizante en la agricultura. Más recientemente han surgido estudios específicos buscando la posibilidad de aprovechar estos blooms (por ejemplo, de las escifomedusas *Lychnorhiza malayensis*, *Chrysaora* sp. y *Marivagia stellata*) para utilizarlos como fertilizantes orgánicos, encontrando resultados positivos pues se incrementan las concentraciones de nitrógeno, fósforo y potasio disponibles para las plantas, además de retener mayor porcentaje de humedad (Samaraweera y Dissanayake, 2022). También en agricultura, se ha investigado el uso potencial de medusas, como *Cyanea capillata*, como herbicida e insecticida (Hussein *et al.*, 2015).

Las medusas también se han estudiado con fines médicos y cosméticos, por ejemplo, se ha visto su uso potencial en medicina utilizando algunas de sus toxinas como compuestos anticancerígenos, inmunoestimulantes, y otros de sus extractos como complementos antioxidantes (Balamurugan *et*

al., 2010; Khong *et al.*, 2016). Así mismo, se ha detectado un compuesto (glucoproteína) con funciones lubricantes y protectoras, el cual tiene el potencial de ser utilizado como transportadores para la administración de fármacos, componentes de matrices extracelulares artificiales, reactivos antibióticos, retenedores de humedad para materiales cosméticos y aditivos alimentarios (Ohta *et al.*, 2009; Masuda *et al.*, 2007 En: Doyle *et al.*, 2014). Hasta hace unos años aún no existían métodos para producir artificialmente grandes cantidades de esta mucina, sin embargo, se podrían recolectar cantidades suficientes de medusas para satisfacer la demanda.

Las escifomedusas son también una fuente abundante de colágeno, en algunas especies es el 50% de su composición total de proteína (Gatusso *et al.*, 2025), y además se ha encontrado que el colágeno derivado de estas medusas es biocompatible con el colágeno humano, por lo que se considera como una buena alternativa al colágeno bovino o porcino, que son los que más se utilizan en suplementos para humanos (Duarte *et al.*, 2021). Es por esto que el extracto de colágeno de medusa se ha utilizado como complemento de bebidas embellecedoras, así como auxiliar en el tratamiento de la hipertensión, indigestión, fatiga, dolor de espalda, artritis reumatoide, reconstrucción muscular, de cartílago y hueso (Addad *et al.* 2011; Hsieh *et al.*, 2001; You *et al.* 2007 En: Doyle *et al.*, 2014).

Los blooms de medusas soportan pesquerías de aprovechamiento principalmente en China, Japón y Corea del Sur (Doyle *et al.*, 2014), donde dichas pesquerías han incrementado exponencialmente desde 1970's (Brotz *et al.*, 2017), y se han expandido a otros países de Asia como India, Indonesia, Malasia, Pakistán, Filipinas, Tailandia y Vietnam (Duarte *et al.*, 2021); además, se han extendido hacia otras áreas como el hemisferio Oeste, con al menos 19 países participando en estas pesquerías (Duarte *et al.*, 2021). Así, con el paso del tiempo, la pesquería global de medusa ha aumentado significativamente, con capturas excediendo el millón de toneladas, al menos hasta el 2016 (Brotz *et al.*, 2017). La pesquería reportada en el continente americano representa tan sólo el 3% de la pesca global, participando países como Canadá, Perú, Argentina, Ecuador, Honduras, México, Nicaragua y Estados Unidos, los últimos 5 enfocados principalmente a la medusa bola de cañón (*Stomolophus* sp.) (Brotz *et al.*, 2017). Esta especie es la única que se pesca en México, se registró por primera vez, en el 2000, su pesquería emergente (de fomento) en el Golfo de México (Tabasco) y posteriormente en el Golfo de California (Sonora) (Brotz *et al.*, 2017; López-Martínez y Álvarez-Tello, 2013). En Sonora, desde el 2001 se ha aprovechado el recurso desarrollando una pesquería cuya explotación anual hasta el 2015 ascendía a un promedio de 10-15 mil toneladas, oscilando desde 1,000 hasta 30,000 toneladas por año (Brotz *et al.*, 2017; López-Martínez y Álvarez-

Tello., 2013), y en años posteriores (2018) se registró la extracción de hasta 80 mil toneladas (IMIPAS, 2023). En la actualización de la Carta Nacional Pesquera (2023) aparece el recurso Bola de cañón (*Stomomlophus*) como pesca comercial principalmente en Sonora, pero se incluyen también a Baja California y Sinaloa (IMIPAS, 2023).

No obstante, los blooms de medusa presentan fuertes variaciones interanuales, lo que dificulta hacer predicciones poblacionales o de captura, y hace que las pesquerías sean inestables, de temporadas cortas y fluctuantes (Brotz *et al.*, 2017; Duarte *et al.*, 2021). Esto ha complicado establecer un adecuado esquema de manejo de las pesquerías, por lo tanto, se deberán seguir estrategias conservativas como límites de captura, límite de talla de pesca, manejo adaptativo, principio precautorio y protección al hábitat de los pólipos (Brotz *et al.*, 2017). Cabe mencionar que la mayor parte del producto pesquero se exporta de manera casi exclusiva a China, Japón y Corea del Sur, quienes siguen siendo los principales consumidores de este recurso en el mercado (Duarte *et al.*, 2021).

Conclusiones

- Varias especies de medusas tienen un amplio rango de tolerancia a distintos parámetros ambientales y periodos de inanición, esto, aunado a su ciclo de vida y estrategias reproductivas, les permiten persistir durante periodos de malas condiciones ambientales o escasas de recursos, y desarrollar su máximo desempeño reproductivo cuando estas condiciones mejoran.
- Las actividades antropogénicas y el cambio climático están haciendo que los blooms de medusas se presenten de manera más frecuente, prolongada y densa.
- El calentamiento global favorecerá de distinta manera a algunas especies de algunas regiones, sin embargo, en la mayoría de las escifomedusas estudiadas, se ha visto que la reproducción asexual aumenta después de un incremento en la temperatura.
- La acidificación del mar no afecta de manera significativa a las escifomedusas, por lo menos hasta los niveles de acidificación pronosticados para el próximo siglo.
- Existen varios usos potenciales para el recurso medusa, por lo que bien se podría aprovechar su abundante disponibilidad durante los blooms. Sin embargo, la gran variación interanual que se presenta dificulta elaborar un adecuado manejo pesquero.
- En México, principalmente en Sonora, la pesquería de medusa se dirige a la medusa bola de cañón (*Stomolophus* sp.), y el producto procesado se exporta a Asia.

Literatura citada

1. Álvarez-Tello, F.J., J. López-Martínez y D.B. Lluch-Cota. 2015. *Trophic spectrum and feeding pattern of cannonball jellyfish Stomolophus meleagris (Agassiz, 1862) from central Gulf of California*. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom 96 (6): 1217-1227.
2. Arai, M.N. 1997. *A functional biology of Scyphozoa*. Chapman & Hall. Londres, Inglaterra. 315 pp.
3. Arai, M.N. 2009. *The potential importance of podocysts to the formation of scyphozoan blooms: a review*. Hydrobiologia 616: 241–246.
4. Attrill, M.J., J. Wright y M. Edwards. 2007. *Climate-related increases in jellyfish frequency suggest a more gelatinous future for the North Sea*. Limnology and Oceanography 52 (1): 480–5.
5. Baag, S. y S. Mandal. 2022. *Combined effects of ocean warming and acidification on marine fish and shellfish: A molecule to ecosystem perspective*. Science of The Total Environment 802: 149807.
6. Balamurugan, E., B.V. Reddy y V.P. Menon. 2010. *Antitumor and antioxidant role of Chrysaora quinquecirrha (sea nettle) nematocyst venom peptide against ehrlich ascites carcinoma in Swiss Albino mice*. Molecular and Cellular Biochemistry 338: 69–76.
7. Brotz, L., A. Schiariti, J. López-Martínez, J. Álvarez-Tello, Y.-H.P. Hsieh, R.P. Jones, J. Quiñones, Z. Dong, A.C. Morandini, M. Preciado, E. Laaz, H. Mianzan. 2017. *Jellyfish fisheries in the Americas: origin, state of the art, and perspectives on new fishing grounds*. Reviews in Fish Biology and Fisheries 27: 1-29.
8. Canepa, A., V. Fuentes, A. Sabatés, S. Piraino, F. Boero y J.-M. Gili. 2014. *Pelagia noctiluca in the Mediterranean Sea*. 237-266. En: Pitt, K.A. y C.H. Lucas. (Eds.). Jellyfish blooms. Springer. Berlin/Heidelberg, Alemania. 304 pp.
9. Condon, R.H., W.M. Graham, C.M. Duarte, K.A. Pitt, C.H. Lucas, S.H.D. Haddock, K.R. Sutherland, K.L. Robinson, M.N. Dawson, M.B. Decker, C.E. Mills, J.E. Purcell, A. Malej, H. Mianzan, S.-I. Uye, S. Gelcich y L.P. Madin. 2012. *Questioning the Rise of Gelatinous Zooplankton in the World's Oceans*. BioScience 62: 160–169.
10. Decker, M.B., K. Cieciel, A. Zavolokin, R. Lauth, R.D. Brodeur y K.O. Coyle. 2014. *Population fluctuations of jellyfish in the Bering Sea and their ecological role in this productive shelf ecosystem*. 153-183. En: Pitt, K.A. y C.H. Lucas. (Eds.). Jellyfish blooms. Springer. Berlin/Heidelberg, Alemania. 304 pp.

11. Doney, S.C., V.J. Fabry, R.A. Feely y J.A. Kleypas. 2009. *Ocean Acidification: The Other CO₂ Problem*. Annual Review of Marine Science 1: 169–92.
12. Dong, Z., L. Dongyan, y J.K. Keesing. 2014. *Contrasting trends in populations of Rhopilema esculentum and Aurelia aurita in chinese waters*. 207-218. En: Pitt, K.A. y C.H. Lucas. (Eds.). Jellyfish blooms. Springer. Berlin/Heidelberg, Alemania. 304 pp.
13. Doyle, T.K., G.C. Hays, C. Harrod y J.D.R. Houghton. 2014. Ecological and societal benefits of jellyfish. 105-127. En: Pitt, K.A. y C.H. Lucas. (Eds.). Jellyfish blooms. Springer. Berlin/Heidelberg, Alemania. 304 pp.
14. Duarte, I.M., S.C. Marques, S.M. Leandro y R. Calado. 2021. *An overview of jellyfish aquaculture: for food, feed, pharma and fun*. Reviews in Aquaculture 00: 1–23.
15. Enrique-Navarro, A., I.E. Huertas, M.J. León-Cobo y L. Prieto. 2021. *Impact of ocean warming and ocean acidification on asexual reproduction and statolith formation of the symbiotic jellyfish Cotylorhiza tuberculata*. PLoS One 16 (8): e0254983.
16. Gattuso, P., N. Nogueira, S.K.M. Gueroun, J. Javidpour, J. Canning-Clode y C.A.P. Andrade. 2025. *Is jellyfish a suitable ingredient for aquafeed? A comprehensive review of nutritional potential and limitation*. Frontiers in Marine Science 12:1539725.
17. Hashim, A.R., S.A. Kamaruddin, F. Buyong, E.N. Mat Nazir, C.Z. Che Ismail, J. Tajam, A.L. Abdullah, T.M. Firdaus Azis y A. Anscelly. 2022. *Jellyfish blooming: Are we responsible?* Proceedings of the ICAN International Virtual Conference 51-60.
18. Hernández-Tlapale, C. 2010. *Efecto de la temperatura en la reproducción asexual de la fase pólipo en la medusa bola de cañón Stomolophus meleagris Agassiz, 1862 (Scyphozoa, Rhizostomeae) en condiciones controladas*. Tesis de licenciatura. Universidad del Mar. México. 45 pp.
19. Hussein, O.S., R.M. Sayed y O.I. Saleh. 2015. *Uses of jellyfish in pre sowing seeds treatment and pest control*. Journal of Experimental Agriculture International 5 (1): 60-69.
20. Instituto Mexicano de Investigación en Pesca y Acuicultura Sustentable (IMIPAS). 21 de julio del 2023. Actualización de la Carta Nacional Pesquera (Diario Oficial de la Federación) Gobierno de México.
21. Kawahara, M., S. Uye, K. Ohtsu y H. Iizumi. 2006. Unusual population explosion of the giant jellyfish *Nemopilema nomurai* (Scyphozoa: Rhizostomeae) in East Asian waters. Marine Ecology Progress Series 307: 161–173.
22. Khong, N.M.H., F.Md. Yusoff, B. Jamilah, M.Basri, I. Maznah, K.W. Chan y J. Nishikawa. 2016. *Nutritional composition and total collagen content of three commercially important edible jellyfish*. Food Chemistry 196: 953–960.

23. León-Cobo, M. J., A. Enrique-Navarro, A. Bartual y L. Prieto. 2024. *Impact of warming and acidification of the Mediterranean Sea on statolith formation of the scyphozoan jellyfish Rhizostoma pulmo Macri (1778)*. Marine Environmental Research 202: 106788.
24. López-Martínez, J. y J. Álvarez-Tello. 2013. *The jellyfish fishery in México*. Agricultural Sciences 4 (6A): 57-61.
25. Lotan, A., R. Ben-Hillel y Y. Loya. 1992. *Life cycle of Rhopilema nomadica: a new immigrant scyphomedusan in the Mediterranean*. Marine Biology 112: 237–242.
26. Lucas, C.H. 2001. *Reproduction and life history strategies of the common jellyfish, Aurelia aurita, in relation to its ambient environment*. Hydrobiologia 451: 229-246.
27. Lucas, C.H. y M.N. Dawson. 2014. *What are jellyfishes and thaliaceans and why do they bloom?* 9-44. En: Pitt, K.A. y C.H. Lucas. (Eds.). Jellyfish blooms. Springer. Berlin/Heidelberg, Alemania. 304 pp.
28. Lucas, C.H., S. Gelcich y S.-I. Uye. 2014. *Living with jellyfish: management and adaptation strategies*. 129-150. En: Pitt, K.A. y C.H. Lucas. (Eds.). Jellyfish blooms. Springer. Berlin/Heidelberg, Alemania. 304 pp.
29. Lüthi, D., M. Le Floch, B. Bereiter, T. Blunier, J. M. Barnola, U. Siegenthaler, D. Raynaud, J. Jouzel, H. Fischer, K. Kawamura y T. F. Stocker. 2008. *High-resolution carbon dioxide concentration record 650,000–800,000 years before present*. Nature 453: 379–382.
30. MacFarling, M.C., D. Etheridge, C. Trudinger, P. Steele, R. Langenfelds, T. van Ommen, A. Smith y J. Elkins. 2006. *Law Dome CO₂, CH₄ and N₂O ice core records extended to 2000 years BP*. Geophysical Research Letters 33: L14810.
31. Masuda, R. 2009. *Ontogenetic changes in the ecological function of the association behavior between jack mackerel Trachurus japonicus and jellyfish*. Hydrobiologia 616: 269-277.
32. National Research Council of The National Academies. 2012. *Climate Change. Evidence, Impacts and Choices*. United States. 36 pp.
33. NASA/GISTEMP Team. 2025. *GISS Surface Temperature Analysis (GISTEMP), version 4*. NASA Goddard Institute for Space Studies. En: <https://data.giss.nasa.gov/gistemp/> (consultado el 01/07/2025).
34. Needleman, R.K., I.P. Neylan y T.B. Erickson. 2018. *Environmental and Ecological Effects of Climate Change on Venomous Marine and Amphibious Species in the Wilderness*. Wilderness and Environmental Medicine 29 (3): 343-356.
35. O'Connor, R. 2025. *Kayaker Puts Camera in Water—Horror As She Sees What's Lurking Beneath Her*. Newsweek. En: <https://www.newsweek.com/kayaker-puts-camera-waterhorror-she-sees-whats-lurking-beneath-her-2088299> (consultado el 01/07/2025).

36. Pauly, D., W. Graham, S. Libralato, L. Morissette y M.L.D. Palomares. 2009. *Jellyfish in ecosystems, online databases, and ecosystem models*. Hydrobiologia 616: 67–85.
37. Pitt, K.A., D.T. Welsh y R.H. Condon. 2009. *Influence of jellyfish blooms on carbon, nitrogen and phosphorous cycling and plankton production*. Hydrobiologia 616: 133–149.
38. Pitt, K.A., C.M. Duarte, C.H. Lucas, K.R. Sutherland, R.H. Condon, H. Mianzan, J.E. Purcell, K.L. Robinson y S.-I. Uye. 2013. *Jellyfish Body Plans Provide Allometric Advantages beyond Low Carbon Content*. PLoS ONE 8(8): e72683.
39. Pitt, K.A., A.C. Budarf, J.G. Browne y R.H. Condon. 2014. *Bloom and Bust: Why Do Blooms of Jellyfish Collapse?* 79-103. En: Pitt, K.A. y C.H. Lucas. (Eds.). *Jellyfish blooms*. Springer. Berlin/Heidelberg, Alemania. 304 pp.
40. Purcell, J.E., D. Atienza, V. Fuentes, A. Olariaga, U. Tilves, C. Colahan y J.-M. Gili. 2012. *Temperature effects on asexual reproduction rates of scyphozoan species from the northwest Mediterranean Sea*. Hydrobiologia 690: 169-180.
41. Samaraweera, V.D. y D.C.T. Dissanayake. 2022. *Use of Jellyfish as a potential organic fertilizer and its effect on the growth of okra, Abelmoschus esculentus*. Ceylon Journal of Science 51 (3): 299-306.
42. Schiariti, A., A.C. Morandini, G. Jarms, R. von Glaehn Paes, S. Franke y H. Mianzan. 2014. *Asexual reproduction strategies and blooming potential in Scyphozoa*. Marine Ecology Progress Series 510: 241–253.
43. Thein, H., H. Ikeda y S. Uye. 2012. *The potential role of podocysts in perpetuation of the common jellyfish Aurelia aurita s.l. (Cnidaria: Scyphozoa) in anthropogenically perturbed coastal waters*. Hidrobiologia 690: 157–167.
44. Thein, H., H. Ikeda y S. Uye. 2013. *Ecophysiological characteristics of podocysts in Chrysaora pacifica (Goette) and Cyanea nozakii Kishinouye (Cnidaria: Scyphozoa: Semaestomeae): effects of environmental factors on their production, dormancy and excystment*. Journal of experimental marine biology and ecology 446: 151–8.
45. Thomas, A., A. Ramkumar y A. Shanmugam. 2022. *CO₂ acidification and its differential responses on aquatic biota – a review*. Environmental Advances 8: 100219.
46. Ummenhofer, C.C. y G.A. Meehl. 2017. *Extreme weather and climate events with ecological relevance: a review*. Philosophical Transactions of the Royal Society B Biological Sciences 372: 20160135.
47. Uye, S.-I. 2014. *The giant jellyfish Nemopilema nomurai in East Asian marginal Seas*. 185-205. En: Pitt, K.A. y C.H. Lucas. (Eds.). *Jellyfish blooms*. Springer. Berlin/Heidelberg, Alemania. 304 pp.

48. Winans, A.K. y J.E. Purcell. 2010. *Effects of pH on asexual reproduction and statolith formation of the scyphozoan Aurelia labiata*. *Hydrobiologia* 645 (1): 39-52.

Fuentes de las figuras

- Ghazouani, S. 2016. *Linear optimization models for the simultaneous design of mass and heat networks of an eco-industrial park*. Tesis de doctorado. Université de recherche Paris sciences et lettres. Francia. 204 pp.
- HEPCA. 2011. *Jellyfish bloom-outbreak*. En: <https://www.hepca.org/news/jellyfish-bloom-outbreak-#> (consultado el 27/05/2025).
- Loctier, D. y Euronews. 2024. *Jellyfish: if you can't beat them, eat them?* Euronews. En: <https://www.euronews.com/green/2024/07/30/jellyfish-if-you-cant-beat-them-eat-them> (consultado el 27/05/2025).
- McCall, R. 2020. *Thousands of Pink Jellyfish Seen in the Philippines as Tourists Desert Beaches Amid Coronavirus Crisis*. *Newsweek*. En: <https://www.newsweek.com/pink-jellyfish-philippines-tourists-beaches-coronavirus-1495562> (consultado el 01/07/2025).
- NASA, 2025. *Climate change – Evidence*. En: <https://ciencia.nasa.gov/cambio-climatico/evidencia/> (consultado el 04/07/2025).
- NASA/GISTEMP. 2025. *GISS Surface Temperature Analysis (GISTEMP), version 4*. NASA Goddard Institute for Space Studies. En: <https://data.giss.nasa.gov/gistemp/>. (consultado el 01/07/2025).
- Shiffman, D. 2022. *What causes a jellyfish bloom?* *Scuba Diving magazine*. En: <https://www.scubadiving.com/what-causes-jellyfish-bloom> (consultado el 26/05/2025).
- Uye, S.-I. 2014. *The giant jellyfish Nemopilema nomurai in East Asian marginal Seas*. 185-205. En: Pitt, K.A. y C.H. Lucas. (Eds.). *Jellyfish blooms*. Springer. Berlin/Heidelberg, Alemania. 304 pp.

Cita

Reza, M. Medusas ante el cambio climático: reproducción, blooms y aprovechamiento. Recursos Naturales y Sociedad, 2025. Vol. 11 (2): 134-155.

<https://doi.org/10.18846/renaysoc.2025.11.11.02.0009>

Sometido: 27 de mayo de 2025

Aceptado: 9 de septiembre de 2025

Editora asociada: Dra. Crisalejandra Rivera Pérez

Editora ejecutiva: Dra. Crisalejandra Rivera Pérez

Diseño gráfico editorial: Ing. Fca. Elizabeth Villegas Carrazco