

**Expansión térmica. Cuando el océano se dilata: Crónica de una subida
anunciada**

Thermal expansion. When the ocean expands: Chronicle of a rise foretold

**Expansão térmica. Quando o oceano se expande: Crônica de uma subida
anunciada**

Alfredo Ricardo Zárate-Valencia* ID. 0000-0002-9584-4593

Juan Manuel Barnard-Ávila ID. 0009-0003-8985-0414

Doctorado en Ciencias Ambientales, Centro de Ciencias del Desarrollo Regional, Universidad Autónoma de Guerrero. Privada de Laurel No. 13 Col. El Roble.39640, Acapulco, Guerrero, México.

Autor de correspondencia azaratev@hotmail.com

Recibido: 20/02/2025

Revisado: 05/04/2025

Aprobado: 26/05/2025

Publicado: 21/06/2025

Resumen

El calentamiento global, causado por el incremento de gases de efecto invernadero, tiene como una de sus consecuencias el aumento del nivel del mar, ya sea por la expansión térmica o el derretimiento de los casquetes polares. La expansión térmica es el hecho de que el agua se expande al aumentar la temperatura, contribuyendo al aumento del nivel del mar. Los océanos han absorbido más del 90% del exceso de calor del calentamiento global, actuando como un amortiguador del clima. Los datos muestran un aumento claro en la temperatura de los océanos desde 1955, con la década reciente como la más cálida registrada. La expansión térmica es responsable de aproximadamente un tercio del aumento del nivel del mar global, con estimaciones que varían entre 30% y 50%. Según el IPCC, se proyecta que el nivel del mar podría aumentar entre 0.28 y 1.02 metros para el año 2100, dependiendo

de los escenarios de emisiones de contaminantes. El aumento del nivel del mar puede causar inundaciones, erosión costera, y comprometer la infraestructura crítica y los ecosistemas marinos. Frente a este panorama, se hacen necesarias estrategias de adaptación y mitigación, como la construcción y mejora de defensas costeras, la reubicación de infraestructuras vulnerables a zonas más elevadas, y la gestión de los recursos hídricos.

Palabras clave: cambio climático, expansión térmica, nivel del mar, calentamiento oceánico, océano, dilatación.

Abstract

Global warming, driven by the rise of greenhouse gases, leads to several consequences, one of which is the increase in sea levels. This happens either through thermal expansion or the melting of polar ice caps. Thermal expansion refers to the way water expands as temperatures rise, which contributes to the overall rise in sea levels. The oceans have taken in over 90% of the extra heat from global warming, acting as a sort of climate buffer. Data indicates a noticeable rise in ocean temperatures since 1955, with the last decade marking the warmest period on record. Thermal expansion accounts for roughly one-third of the global sea level rise, with estimates ranging from 30% to 50%. According to the IPCC, sea levels could rise between 0.28 and 1.02 meters by 2100, depending on different emissions scenarios. This rise can lead to flooding, coastal erosion, and threaten vital infrastructure and marine ecosystems. Given this situation, we need to implement adaptation and mitigation strategies, such as enhancing coastal defenses, relocating at-risk infrastructure to higher ground, and managing our water resources wisely.

Keywords: Climate change, Thermal expansion, Sea level, Ocean warming.

Resumo

O aquecimento global, causado pelo aumento dos gases de efeito estufa, tem como uma de suas consequências o aumento do nível do mar, seja por expansão térmica ou pelo derretimento das calotas polares. A expansão térmica é o fenômeno pelo qual a água se expande com o aumento da temperatura, contribuindo para o aumento do nível do mar. Os oceanos absorveram mais de 90% do excesso de calor do aquecimento global, atuando como um amortecedor climático. Os dados mostram um claro aumento na temperatura dos oceanos desde 1955, sendo a década mais recente a mais quente já registrada. A expansão térmica é responsável por aproximadamente um terço do aumento do nível global do mar, com estimativas que variam entre 30% e 50%. De acordo com o IPCC, projeta-se que

o nível do mar possa aumentar entre 0,28 e 1,02 metros até o ano 2100, dependendo dos cenários de emissões de gases de efeito estufa. O aumento do nível do mar pode causar inundações, erosão costeira e comprometer infraestruturas críticas e ecossistemas marinhos. Diante desse panorama, tornam-se necessárias estratégias de adaptação e mitigação, como a construção e melhoria de defesas costeiras, a realocação de infraestruturas vulneráveis para zonas mais elevadas e a gestão dos recursos hídricos.

Palavras-chave: Mudança climática, Expansão térmica, Nível do mar, Aquecimento oceânico.

Introducción

El calentamiento global es un fenómeno asociado con el aumento de las concentraciones de gases de efecto invernadero derivados de las actividades antropogénicas y que se manifiesta en diversos componentes del sistema terrestre (ONU, 2025; OCE, 2021; Surfrider, 2024). Una de las consecuencias más preocupantes de este calentamiento global es el aumento del nivel del mar, un reto que amenaza a zonas costeras y a los ecosistemas marinos en todo el mundo (SLR, 2021; Thermtest, 2021). Un factor que favorece a esta elevación del nivel oceánico es la expansión térmica. (EEA, 2025; Global Change, 2025; IPCC, 2025; NASA, 2025; NASA Climate, 2024; NASA Sea Level, 2025; National Climate Assessment, 2014; NEEF, 2025; NOAA Climate, 2023; UCAR, 2025). Este proceso físico describe cómo el agua y, la mayoría de los líquidos, aumenta su volumen cuando su temperatura aumenta (Climate Change, 2022; IPCC, 2001; US Climate, 2022). La correlación entre el calentamiento global y la expansión térmica de los océanos reside en la capacidad del océano para absorber calor adicional atrapado en el sistema terrestre debido al aumento de la temperatura (Cheng

et al., 2019a; IPCC AR6, 2025; NASA Science, 2018).

Este artículo explora la teoría que sustenta la expansión térmica de los océanos como una respuesta directa al calentamiento global. Se examinaron los principios físicos que rigen la expansión térmica del agua (también conocida como dilatación), la evidencia que respalda el calentamiento oceánico a escala global, el efecto de la expansión térmica en el aumento general del nivel del mar en comparación con otras causas, los modelos teóricos empleados para estimar esta expansión en el futuro, y las graves implicaciones que este fenómeno tiene para nuestro planeta. El objetivo es ofrecer una comprensión de la compleja relación entre el aumento de la temperatura global y la expansión volumétrica de los océanos, un aspecto que creemos importante para abordar los desafíos del cambio climático (NOAA Climate, 2023; SLR, 2021; Thermtest, 2021).

Materiales y Métodos

Esta contribución se nutre de artículos científicos, informes de organismos internacionales (IPCC, NASA, NOAA) y estudios publicados entre 2000 y 2025, para rastrear una pregunta crucial: ¿cuánto del

aumento del nivel del mar se debe a la expansión térmica del océano? La respuesta es de física básica, pero de consecuencias monumentales. Los científicos lo miden con satélites, modelos que simulan corrientes y sensores que leen el pulso del océano a varios metros bajo la superficie. Los datos indican que esta expansión silenciosa es una de las principales causantes del ascenso marino. Dado que el fenómeno del ascenso del nivel del mar tiene un importante impacto sobre las zonas costeras, requiere una aproximación basada en evidencia.

Principios físicos de la expansión térmica del agua

La expansión térmica es un comportamiento de los líquidos líquido y se basa en la relación entre la temperatura y la energía cinética de las moléculas (ONU, 2025; OCE, 2021; Surfrider, 2024). Cuando la temperatura de un líquido aumenta, las moléculas que lo componen absorben energía, lo cual incrementa su movimiento causando un aumento de la distancia promedio entre ellas (Figura 1). Este aumento en la separación intermolecular a nivel microscópico se muestra macroscópicamente como una

expansión del volumen total del líquido (SLR, 2021; Thermtest, 2021).

El agua tiene un comportamiento térmico muy particular. Aunque sigue la tendencia general de expansión con el calor, presenta una anomalía notable en el rango de temperatura entre 0 y 4 grados Celsius (Surfrider, 2024). Cuando el agua atraviesa este rango se contrae al calentarse y se expande al enfriarse, pero en temperaturas arriba de los 4 °C, el agua se comporta de manera normal, expandiéndose a medida que la temperatura aumenta (OCE, 2021). El agua de mar tiene propiedades ligeramente distintas al agua dulce (debido a la presencia de sales disueltas), pero en esencia tiene una respuesta convencional a los cambios de temperatura (Ning *et al.*, 2015).

Para medir la expansión térmica, se utiliza el coeficiente de expansión térmica (α) (Surfrider, 2024). Este coeficiente es una fracción del volumen de una sustancia por cada grado de cambio en la temperatura mientras la presión se mantiene constante (ONU, 2025). Hay que destacar que el coeficiente de expansión térmica del agua no es una constante pues este valor cambia en función de la temperatura. Por ejemplo, su valor es diferente a 10 °C, 20 °C y 30 °C (OCE, 2021). En el agua de mar también se

deben considerar factores como la salinidad y la presión para determinar con precisión este coeficiente, lo cual resulta decisivo para la creación de modelos predictivos que permitan estimar el aumento del nivel del mar que induce la expansión térmica con la mayor exactitud (SLR, 2021).

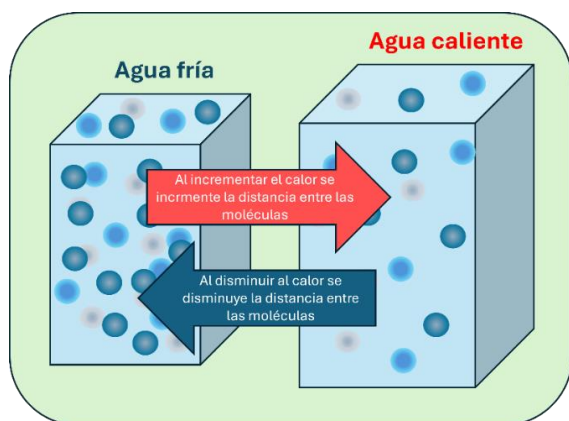


Figura 1. Diagrama de expansión térmica
El Océano: “Un sumidero de calor”

El océano juega un papel importante en la regulación del clima debido a su capacidad para absorber y almacenar calor (Zanna *et al.*, 2019).

Se calcula que los océanos han asimilado más del 90% del exceso de calor derivado del calentamiento global (NOAA Climate, 2023; SLR, 2021; Thermtest, 2021). Esta capacidad es mayor que la de la atmósfera en hasta 1000 veces (NASA Sea Level, 2025). Así, el océano es el principal “amortiguador” de los cambios de temperatura en el planeta

moderando el calentamiento que, de otro modo, experimentaría la atmósfera y la superficie terrestre (EEQ, 2025; NASA Sea Level, 2025; National Climate Assessment, 2014).

Los registros de temperatura de los océanos desde 1955 revelan una clara tendencia al calentamiento a nivel global, como se aprecia en la Figura 2. La última década ha sido la más cálida para los océanos desde que se tienen registros, y el año 2023 fue el año más cálido registrado (Cheng *et al.*, 2021). Datos recientes muestran que la temperatura de la superficie oceánica global ha experimentado un incremento promedio de 0.88 °C entre 1900 y 2011. Este aumento es una prueba de la absorción de calor del océano provocado por el desequilibrio energético del planeta. En el mapa de la Figura 3 se muestran las anomalías de temperatura de la superficie del mar el día 21 de agosto de 2023, con zonas con más de 3 °C arriba de lo normal.

Ahora bien, la distribución del calor absorbido por el océano no es uniforme, varía tanto en profundidad como geográficamente, aunque la mayor parte de ese calor adicional se concentra en las capas superficiales del océano, más o menos hasta una profundidad de 700 metros, aunque también en las aguas profundas se experimenta un calentamiento,

pero a un ritmo más lento. Es decir, que la expansión térmica del agua de mar no es homogénea. Con la igual cantidad de calor absorbido, las aguas más profundas, las cuales están sometidas a una mayor presión por la columna de agua suprayacente, tienden a expandirse ligeramente, más que las aguas superficiales (Surfrider, 2024). Por otro lado, las temperaturas oceánicas también varían significativamente según la ubicación geográfica (más frías conforme se acercan a los polos), lo que implica que la magnitud de la expansión térmica también presenta variaciones regionales (ONU, 2025).

Expansión térmica y aumento del nivel del mar

La expansión térmica del agua de mar es, sin duda, una de las causas principales del aumento del nivel del mar a escala global. Algunas estimaciones apuntan a que este fenómeno causa aproximadamente el aumento de un tercio del nivel mundial (OCE, 2021). Otras más, apuntan a que la expansión térmica del agua contribuye entre un 30% y un 50% al incremento global del nivel oceánico (SLR, 2021; Thermtest, 2021). La recopilación de datos de satélites desde 2004 muestra que más o menos un tercio del aumento global de la altura del mar detectado

por estos instrumentos se debe a la expansión térmica de los océanos (Tabla 1). Otro estudio que abarca desde la década de 1990 apunta a que aproximadamente la mitad del aumento de la elevación oceánica durante ese período puede atribuirse a la expansión térmica del mar (Cazenave *et al.*, 2018). Aunque la proporción varía según el período de tiempo y la metodología empleada, hay un consenso en que la expansión térmica juega un papel sustancial en la elevación del nivel oceánico (EEA, 2025; NASA Sea Level, 2025).

Es importante destacar que existen otras causas del aumento del nivel del mar, como el derretimiento de de estos hielos terrestres es el causante de aproximadamente dos tercios del aumento global del nivel oceánico. Recientemente, en particular entre 2005 y 2013, el aumento del nivel del mar debido al deshielo superó casi en el doble al aumento causado por la expansión térmica (ONU, 2025).

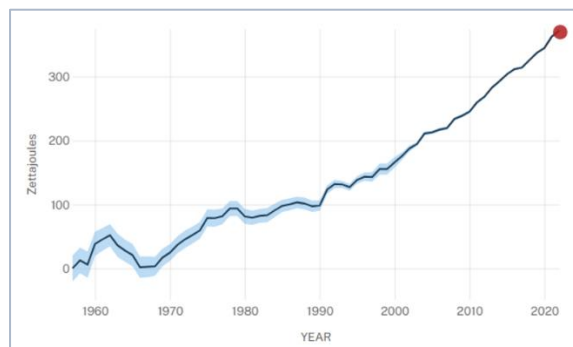


Figura 2. Gráfico de contenido de calor oceánico (1955–2020). Fuente la NASA Climate.

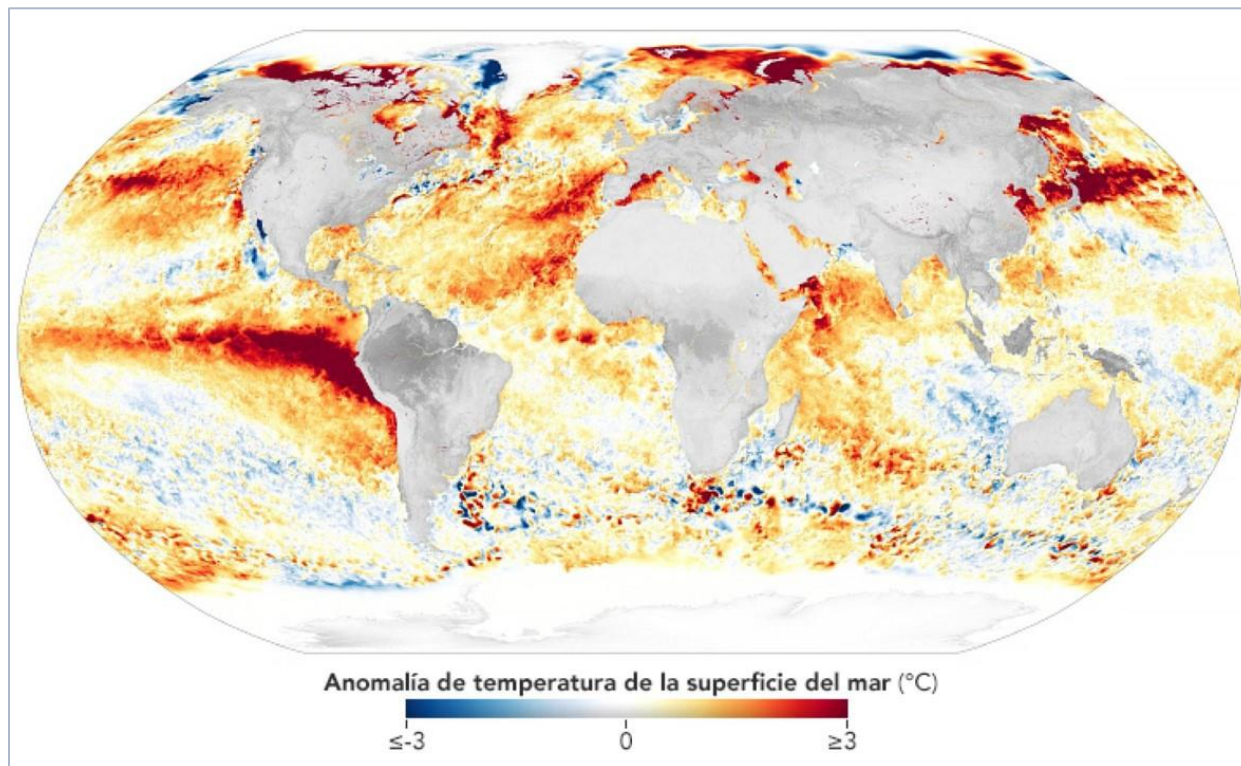


Figura 3. Anomalías de temperatura en el mar. Fuente la NASA.

A la luz de estos datos, vemos que, si bien la expansión térmica es un contribuyente significativo, el derretimiento de los hielos toma más importancia relativa en el aumento de la altura del mar.

Como ya se mencionó, el aumento del nivel oceánico inducido por la expansión térmica no es uniforme. (OCE, 2021). Las costas cercanas a corrientes oceánicas cálidas tienden a sufrir un aumento más pronunciado,

debido a que el agua caliente se expande más. La expansión térmica, además, varía con la profundidad y la ubicación, dependiendo de las zonas específicas del océano que experimentan un mayor calentamiento. Ese aumento del nivel del mar regional está influenciado por la distribución heterogénea del calentamiento oceánico y otros factores como las corrientes marinas, implica que las comunidades costeras en diferentes partes del

mundo enfrentarán impactos distintos (US Climate, 2022).

Modelos teóricos para la proyección de la expansión térmica oceánica

La comprensión y la proyección de la expansión térmica de los océanos tienen como base el uso de modelos climáticos complejos, entre los que destacan los Modelos de Circulación General Océano-Atmósfera (AOGCMs, por sus siglas en inglés) (NASA, 2025). Estos modelos son simulaciones computacionales que intentan representar las interacciones entre la atmósfera, los océanos y la superficie terrestre en múltiples escenarios de concentración de gases de efecto invernadero (US Climate, 2022). Su objetivo principal es proyectar la respuesta de los cambios en la altura del mar causados por variaciones en las

corrientes oceánicas, la temperatura y la salinidad del agua del mar del nivel oceánico, que abarca tanto la expansión térmica del agua como los cambios en la circulación oceánica (Cheng *et al.*, 2019b). El Proyecto de Intercomparación de Modelos Acoplados (CMIP, por sus siglas en inglés) facilita la comparación y el análisis de los resultados generados por diversos modelos climáticos a nivel internacional, contribuyendo a una evaluación más robusta de las proyecciones (UCAR, 2025).

Los modelos AOGCMs se basan en principios fundamentales de la física, tales como la dinámica de fluidos, la termodinámica y la transferencia de fluidos, la termodinámica y la transferencia de radiación, aplicados tanto a la atmósfera como a los océanos (NASA, 2025).

Tabla 1: Contribución de la expansión térmica al aumento del nivel del mar

Fuente	Período considerado	Estimación de la contribución
IPCC	-	Aproximadamente un tercio del aumento global
Diversos estudios	-	30% - 50% del aumento global
NASA (datos satelitales)	Desde 2004	Aproximadamente un tercio del aumento global
Estudio de la década de 1990	Década de 1990	Aproximadamente la mitad del aumento global

Dichos modelos simulan lo más detalladamente posible los procesos de absorción y distribución del calor dentro del océano y así estimar la magnitud y la velocidad del aumento del nivel del mar debido a la expansión térmica (Meysignac *et al.*, 2019). Existen modelos más simplificados, como el de afloramiento-difusión unidimensional (UD), que analiza solamente la variación de la temperatura con la profundidad oceánica. Debido a que son modelos más sencillos requieren menos potencia computacional, los AOGCMs son los que ofrecen una representación más cercana a la realidad del sistema climático y sus complejas interacciones (NASA, 2025).

Aunque son muy sofisticados, los modelos climáticos no están exentos de sesgos y limitaciones. Estos sesgos pueden surgir de la complejidad inherente al sistema climático, de las limitaciones de la comprensión de ciertos procesos físicos cruciales (como la dinámica de las capas de hielo), y de las decisiones que se toman durante el desarrollo y parametrización de los mismos. Por ejemplo, la capacidad de los AOGCMs para simular con precisión los cambios en las profundidades oceánicas aún presenta desafíos, en parte debido a la escasez de datos

observacionales a largo plazo que permitan validar y refinarlos (NASA, 2025). Al respecto, la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA por sus siglas en inglés), tiene desde 2014 un programa denominado ARGO que tiene en todos los océanos flotadores de perfilado que registran datos como salinidad, temperatura entre otros, casi en tiempo real y están disponibles para la comunidad científica (NOAA AOML, 2025).

Escenarios futuros del aumento del nivel del mar por expansión térmica

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) tiene un papel esencial en la elaboración de proyecciones del aumento del nivel del mar, se basa en una variedad de escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero conocidos como escenarios de emisiones socioeconómicas compartidas (SSPs), los cuales representan diferentes trayectorias posibles para las emisiones futuras (IPCC, 2001), tomando en cuenta diversos niveles de mitigación del cambio climático y, por lo tanto, distintos grados de aumento de la temperatura global. Las estimaciones sobre cambios del nivel del mar se expresan

típicamente en relación con un período de referencia dado, como el comprendido entre 1995 y 2014, o el año 2000 debido a la relevancia de los datos (Widlansky *et al.*, 2020). En la Figura 4 se muestran niveles del mar de diferentes periodos y satelitales que indican una tendencia positiva de 3 mm por año.

Las estimaciones suponen que por cada grado Celsius de aumento en la temperatura promedio mundial, la expansión térmica aumentaría el nivel del mar entre 0.2 y 0.6 metros (Surfrider, 2024). Si se logra mantener emisiones muy bajas (SSP1-1.9), se calcula que el aumento del nivel del mar global para el año 2100 podría oscilar entre 0.28 y 0.55 metros. En cambio, si el escenario de emisiones es muy alto (SSP5-8.5), el aumento proyectado se sitúa entre 0.63 y 1.02 metros como se muestra en la Tabla 2. Aún con un escenario de emisiones muy optimista, se espera que el nivel medio global del mar aumente al menos 0.3 metros por encima de los niveles del año 2000 para el final del siglo XXI. En cualquier caso, el desafío que plantea el aumento del nivel del mar inducido por la expansión térmica es enorme.

De nuevo resaltamos que el derretimiento de los glaciares y las capas de hielo, así como los cambios en el almacenamiento de agua en

tierra, juegan un papel importante. Existen modelos para capas de hielo que estiman la pérdida de masa de Groenlandia y la Antártida, cuya contribución al aumento del nivel del mar es significativa (National Climate Assessment, 2014). Por otro lado, las proyecciones del nivel del mar en las distintas regiones deben tomar en cuenta una serie de factores locales, como las modificaciones en la circulación oceánica, los efectos gravitacionales y rotacionales derivados de la pérdida de masa de hielo, el hundimiento o la elevación de la tierra, y los patrones climáticos regionales. Todas estas variables aumentan la complejidad para predecir el aumento del nivel del mar en diferentes partes del mundo.

Implicaciones y consecuencias del aumento del nivel del mar por expansión térmica

El incremento del nivel del mar tiene consecuencias de largo alcance, en especial para las zonas costeras (NOAA Climate, 2023). Una afectación inmediata es el incremento en la frecuencia y la extensión de las inundaciones costeras, con lo que las líneas de costa sufrirían erosión, pérdida de valiosas tierras bajas y la intrusión de agua salada en acuíferos y lagunas,

comprometiendo así el suministro de agua potable (OCE, 2021). Además, las zonas costeras tienen infraestructura crítica que incluye carreteras, puentes, aeropuertos, puertos marítimos y plantas de energía, que se vuelven más vulnerables a los daños causados por las inundaciones y las marejadas ciclónicas.

Los manglares pueden ser alterados o incluso destruidos si el aumento del nivel del agua supera su capacidad de adaptación. Si esos ecosistemas se pierden, se reduce la protección natural que ofrecen a las comunidades costeras contra los eventos climáticos extremos (Global Change, 2025;

NEEF, 2025). Frente a este panorama, se necesitan estrategias de adaptación y mitigación que pueden incluir la construcción y mejora de defensas costeras, como diques y malecones, la reubicación de infraestructuras vulnerables a zonas más elevadas, y la gestión de los recursos hídricos (Melet *et al.*, 2018). Estas adaptaciones son importantes, pero también se necesita mitigar el cambio climático, a través de la reducción drástica y sostenida de las emisiones de gases de efecto invernadero, es esencial para frenar el calentamiento futuro de los océanos y, por lo tanto, la magnitud del aumento del nivel del mar a largo plazo (NOAA Climate, 2023).

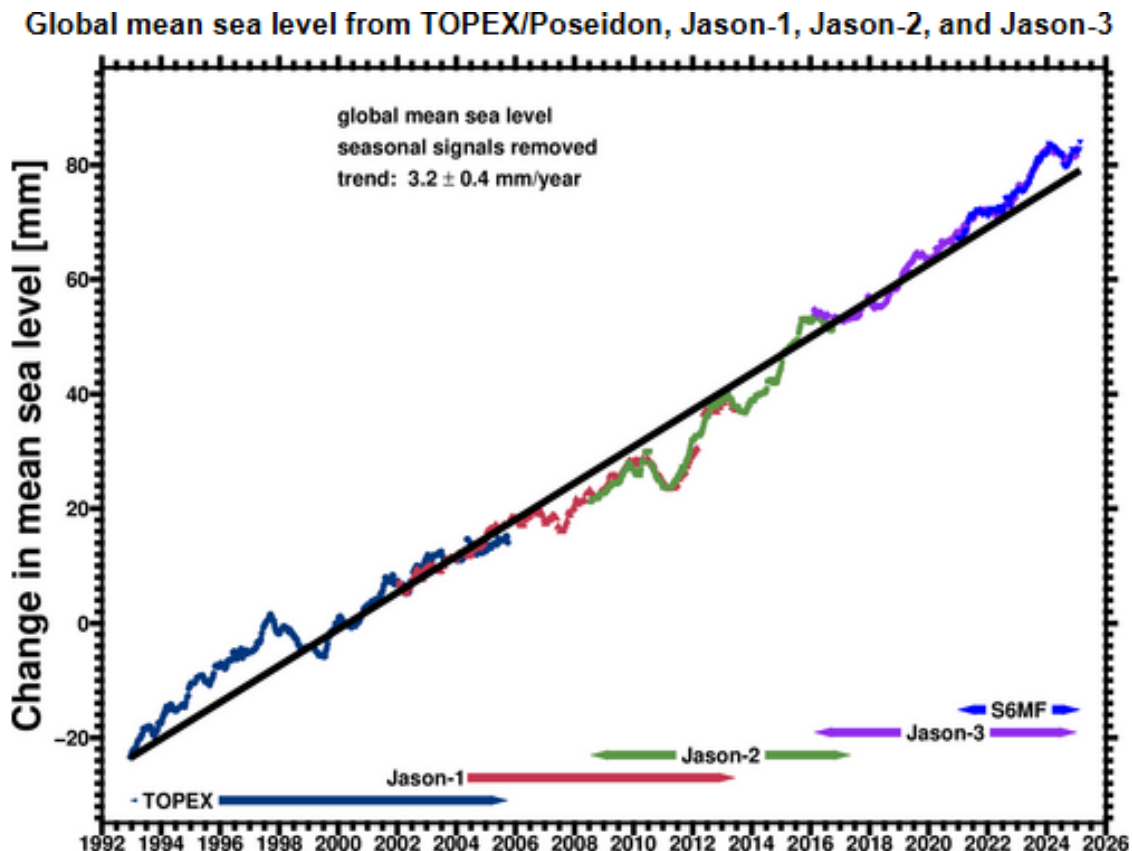


Figura 4. Aumento del nivel del mar. Fuente: NOAA NESDIS STAR.**Tabla 2:** Proyecciones del aumento del nivel del mar para 2100 según diferentes escenarios de emisiones.

Escenario de Emisiones (SSP)	Rango de aumento proyectado para 2100 (en metros)	Fuente
SSP1-1.9 (muy bajas)	0.28 - 0.55	IPCC AR6
SSP5-8.5 (muy altas)	0.63 - 1.02	IPCC AR6
Emisiones más bajas	Al menos 0.3 (por encima de 2000)	NOAA (2022)

Conclusiones

En resumen, la expansión térmica de los océanos es un proceso físico fundamental que contribuye de manera significativa al aumento del nivel del mar mundial en respuesta debido al calentamiento global. A medida que los océanos absorben una gran cantidad del calor adicional atrapado por el aumento de los gases de efecto invernadero, el agua de mar se expande, lo que resulta en una elevación del nivel oceánico. Aunque no es la única causa del aumento del nivel del mar, representa una proporción considerable del incremento total observado y proyectado.

Los modelos climáticos avanzados, como los AOGCMs, son herramientas esenciales para comprender y proyectar la expansión

térmica futura de los océanos, aunque están sujetos a ciertas incertidumbres relacionadas con la complejidad del sistema climático.

Comprender la expansión térmica oceánica es crucial para proponer las estrategias de adaptación necesarias que hagan frente a los impactos inevitables del aumento del nivel del mar, así como para enfatizar la urgencia de la mitigación del cambio climático a través de la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero.

Referencias

- Cazenave, A., Palanisamy, H., & Ablain, M. (2018). Contemporary sea level changes from satellite altimetry: What have we learned? What are the new challenges? *Advances in Space Research*, 62(10), 1639–1653. [10.1016/j.asr.2018.07.017](https://doi.org/10.1016/j.asr.2018.07.017)
- Cheng, L., Abraham, J., Hausfather, Z., & Trenberth, K. E. (2019). How fast are the oceans warming? *Science*, 363(6423), 128–129. [10.1126/science.aav7619](https://doi.org/10.1126/science.aav7619)
- Cheng, L., Zhu, J., Abraham, J., Trenberth, K. E., Fasullo, J. T., Zhang, B., Yu, F., Wan, L., Chen, X., & Song, X. (2019). 2018 continues record global ocean warming. *Advances in Atmospheric Sciences*, 36(3), 249–252. [10.1007/s00376-019-8276-x](https://doi.org/10.1007/s00376-019-8276-x)
- Cheng, L., Abraham, J., Trenberth, K. E., Fasullo, J., Boyer, T., Locarnini, R., Zhang, B., Yu, F., Wan, L., Chen, X., Song, X., Liu, Y., Mann, M. E., Reseghetti, F., Simoncelli, S., Gouretski, V., Chen, G., Mishonov, A., Reagan, J., & Zhu, J. (2021). Upper ocean temperatures hit record high in 2020. *Advances in Atmospheric Sciences*, 38(4), 523–530. [10.1007/s00376-021-0447-x](https://doi.org/10.1007/s00376-021-0447-x)
- ClimateChangePost. (2022). What high-end sea level rise should we plan for? 1.55 m by 2100, scientists conclude. <https://scied.ucar.edu/learning-zone/climate-change-impacts/rising-sea-level>
- EEA. (2025). Global and European sea level rise. European Environment Agency. <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/indicators/global-and-european-sea-level-rise>
- IPCC. (2001). Models of thermal expansion. Intergovernmental Panel on Climate Change. <https://archive.ipcc.ch/ipccreports/tar/wg1/412.htm>
- IPCC. (2021). Chapter 9: Ocean, cryosphere and sea level change. In *Climate change 2021: The physical science basis*. Cambridge University Press. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/chapter/chapter-9/>

- IPCC. (2025). Dive deeper: Future sea level – Global sea level change.
<https://earth.gov/sealevel/about-sea-level-change/future-sea-level/dive-deeper/>
- Melet, A., Meyssignac, B., Almar, R., & Le Cozannet, G. (2018). Under-estimated wave contribution to coastal sea-level rise. *Nature Climate Change*, 8(3), 234–239.
[10.1038/s41558-018-0088-y](https://doi.org/10.1038/s41558-018-0088-y)
- Meyssignac, B., Boyer, T., Zhao, Z., Hakuba, M. Z., Landerer, F. W., Stammer, D., Köhl, A., Kato, S., L’Ecuyer, T., Ablain, M., Abraham, J. P., Blazquez, A., Cazenave, A., Church, J. A., Cowley, R., Cheng, L., Domingues, C., Giglio, D., Gouretski, V., ... Zilberman, N. (2019). Measuring global ocean heat content to estimate the earth energy imbalance. *Frontiers in Marine Science*, 6, Article 432. [10.3389/fmars.2019.00432](https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00432)
- NASA. (2025). Sea level projection tool. NASA Sea Level Change Portal.
<https://sealevel.nasa.gov/ipcc-ar6-sea-level-projection-tool?type=global&info=true.1>
- NASA Climate. (2024). Calentamiento del océano. NASA. <https://climate.nasa.gov/en-espanol/signos-vitales/calentamiento-del-oceano/?intent=111>
- NASA Science. (2018). New study finds sea level rise accelerating. NASA.
<https://science.nasa.gov/earth/climate-change/new-study-finds-sea-level-rise-accelerating/>
- NASA Sea Level. (2025). Thermal expansion: Global sea level. NASA Sea Level Change Portal.
<https://sealevel.nasa.gov/understanding-sea-level/global-sea-level/thermal-expansion/>
- National Climate Assessment. (2014). Sea level rise. In National climate assessment. U.S. Global Change Research Program. <https://nca2014.globalchange.gov/report/our-changing-climate/sea-level-rise>
- NEEF. (2025). Aumento del nivel del mar. The National Environmental Education Foundation.
<https://www.neefusa.org/es/story/climate-change/aumento-del-nivel-del-mar>
- Ning, F. L., Glavatskiy, K., Ji, Z., Kjelstrup, S., & Vlugt, T. J. H. (2015). Compressibility, thermal expansion coefficient and heat capacity of CH₄ and CO₂ hydrate mixtures using molecular dynamics simulations. *Physical Chemistry Chemical Physics*, 17(4), 2869–2883.
[10.1039/C4CP04212C](https://doi.org/10.1039/C4CP04212C)

- NOAA AOML. (2025). Programa Argo. NOAA Atlantic Oceanographic and Meteorological Laboratory. <https://www.aoml.noaa.gov/es/argo/>
- NOAA Climate. (2023). Climate change: Global sea level. NOAA Climate.gov. <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-global-sea-level>
- OCE. (2021). Lección C2: Expansión térmica del océano y aumento del nivel del mar. Office for Climate Education. <https://www.oce.global/es/resources/actividades-para-la-clase/leccion-c2-expansion-termica-del-océano-y-aumento-del-nivel-del>
- ONU. (2025). Cómo afecta el cambio climático a los océanos del planeta. Organización de las Naciones Unidas. <https://www.un.org/es/climatechange/science/climate-issues/ocean-impacts>
- SLR. (2021). Causas del aumento del nivel del mar. Sea Level Rise. <https://sealevelrise.org/es/causes/>
- Surfrider. (2024). Subida del nivel del mar. Ocean Campus. <https://es.oceancampus.eu/curso/subida-del-nivel-del-mar/>
- Thermtest. (2021). Cómo el cambio climático está afectando las temperaturas del océano. <https://thermtest.com/latinamerica/como-afecta-el-cambio-climatico-las-temperaturas-oceanicas-y-los-habitats-marinos>
- UCAR. (2025). Rising sea level. UCAR Center for Science Education. <https://scied.ucar.edu/learning-zone/climate-change-impacts/rising-sea-level>
- US Climate Resilience Toolkit. (2022). Sea level rise. U.S. Climate Resilience Toolkit. <https://toolkit.climate.gov/sea-level-rise>
- Widlansky, M. J., Long, X., & Schloesser, F. (2020). Increase in sea level variability with ocean warming associated with the nonlinear thermal expansion of seawater. *Communications Earth and Environment*, 1(1), Article 9. [10.1038/s43247-020-0008-8](https://doi.org/10.1038/s43247-020-0008-8)
- Zanna, L., Khatiwala, S., Gregory, J. M., Ison, J., & Heimbach, P. (2019). Global reconstruction of historical ocean heat storage and transport. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 116(4), 1126–1131. [10.1073/pnas.1808838115](https://doi.org/10.1073/pnas.1808838115)