

# Plan a Largo Plazo de Salton Sea

*Anexo F: Emisiones de Gas de Efecto Invernadero*

*Marzo de 2024*



## PROGRAMA DE GESTIÓN DE SALTON SEA



CALIFORNIA  
NATURAL  
RESOURCES  
AGENCY



*Esta página se dejó en blanco intencionalmente.*

## Índice

Anexo F: Emisiones de Gas de Efecto Invernadero.....	1
1.1 Introducción.....	1
1.2 Descripción del Área de Estudio .....	2
1.2.1 Entradas de Agua .....	2
1.2.2 Salinidad.....	4
1.2.3 Eutrofización.....	5
1.3 Antecedentes y Suposiciones .....	8
1.3.1 Entradas de Carbono .....	9
1.3.2 Salidas de Carbono .....	12
1.3.2.1 Interrelación Agua-Atmósfera .....	12
1.3.2.2 Interrelación Sedimento-Atmósfera.....	17
1.3.3 Emisiones de Óxido Nitroso.....	20
1.4 Resumen de Valores de Referencia .....	21
1.5 Presupuesto de GHG de Salton Sea por Año (hasta 2100) y hasta la Fecha (desde 1905).....	23
1.6 Conclusión.....	25
1.7 Referencias.....	27

## Lista de Figuras

<b>Figura 1.</b> Gráfico de elevación observada (pies por debajo del nivel medio del mar con un datum NAVD88) y elevación modelada en Salton Sea .....	3
<b>Figura 2.</b> Resultados de un modelo hidrológico de Salton Sea (SSAM) que muestra la reducción del área del lago durante la primera mitad del siglo 21 y el aumento correspondiente en el área expuesta del lecho del lago.....	4
<b>Figura 3.</b> Gráfico de salinidad observada y salinidad modelada en Salton Sea.....	5
<b>Figura 4.</b> Datos observados de fósforo total en Salton Sea. Resumen de fuentes de datos observados informados en Tetra Tech (2016). .....	6
<b>Figura 5.</b> Datos observados de nitrógeno total en Salton Sea. Resumen de fuentes de datos observados informados en Tetra Tech (2016) .....	6
<b>Figura 6.</b> Un diagrama de flujo que muestra los principales procesos relacionados con el carbono en el ecosistema de Salton Sea.....	9
<b>Figura 7.</b> Arriba: Toneladas métricas acumuladas estimadas de CO <sub>2</sub> -eq de OC enterradas en sedimentos lacustres de Salton Sea. Abajo: Toneladas métricas estimadas de CO <sub>2</sub> -eq de OC enterradas por año en los sedimentos lacustres de Salton Sea.....	11
<b>Figura 8.</b> Arriba: Toneladas métricas acumuladas estimadas de CO <sub>2</sub> -eq de emisiones de CH <sub>4</sub> del área del lago de Salton Sea. Abajo: Toneladas métricas acumuladas estimadas de CO <sub>2</sub> -eq de emisiones de CH <sub>4</sub> por año del área del lago de Salton Sea .....	14

**Figura 9.** Arriba: Toneladas métricas acumuladas estimadas de emisiones de CO<sub>2</sub> del área del lago de Salton Sea. Abajo: Toneladas métricas estimadas de emisiones de CO<sub>2</sub> por año del área del lago de Salton Sea ..... 16

**Figura 10.** Arriba: Toneladas métricas acumuladas estimadas de CO<sub>2</sub>-eq de emisiones de CO<sub>2</sub> de los sedimentos lacustres secos que rodean Salton Sea con una suposición de período de oxidación de 5 años. Abajo: Toneladas métricas estimadas de CO<sub>2</sub>-eq de emisiones de CO<sub>2</sub> de los sedimentos lacustres secos que rodean Salton Sea ..... 18

**Figura 11.** Arriba: Toneladas métricas acumuladas estimadas de CO<sub>2</sub>-eq de emisiones de CO<sub>2</sub> de los sedimentos lacustres secos que rodean Salton Sea con una suposición de período de oxidación de 20 años. Abajo: Toneladas métricas estimadas de CO<sub>2</sub>-eq de emisiones de CO<sub>2</sub> de los sedimentos lacustres secos que rodean Salton Sea ..... 19

**Figura 12.** Arriba: Toneladas métricas acumuladas estimadas de CO<sub>2</sub>-eq de flujo de N<sub>2</sub>O del área del lago de Salton Sea. Abajo: Toneladas métricas estimadas de flujo de N<sub>2</sub>O por año del área del lago de Salton Sea ..... 21

**Figura 13.** Emisiones acumuladas de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O para el concepto de Fase 1: Plan de 10 Años en unidades de toneladas métricas de CO<sub>2</sub>-eq ..... 23

## Lista de Tablas

**Tabla 1.** COLUMNA 1: fuentes de información de referencia que se utilizó para calcular el presupuesto de GHG de Salton Sea ..... 22

**Tabla 2.** La misma información que en la Tabla 1 pero con los valores de las fuentes convertidos a diferentes unidades y completados en las COLUMNAS 5, 6, 7 ..... 22

**Tabla 3.** Para el concepto de Fase 1: Plan de 10 Años, estimaciones anuales del enterramiento de OC, emisiones de CO<sub>2</sub> de la oxidación del lecho del lago expuesto, emisiones de CH<sub>4</sub> y flujo de difusión de CO<sub>2</sub> y N<sub>2</sub>O de la superficie del agua del lago en 2000, 2030, 2050 y 2100 ..... 24

**Tabla 4.** Para el concepto de Fase 1: Plan de 10 Años, estimaciones acumuladas del enterramiento de OC, emisiones de CO<sub>2</sub> de la oxidación del lecho del lago expuesto, emisiones de CH<sub>4</sub> y flujo de difusión de CO<sub>2</sub> y N<sub>2</sub>O de la superficie del agua del lago para 2000, 2010, 2020, 2030, 2050 y 2100 ..... 25

# Anexo F: Emisiones de Gas de Efecto Invernadero

## 1.1 Introducción

Este memorándum describe una metodología que se puede utilizar para estimar el presupuesto de gas de efecto invernadero (greenhouse gas, GHG) de Salton Sea. Se necesitan estimaciones de la emisión de GHG para comparar las emisiones actuales y futuras de los diferentes enfoques propuestos para la restauración de Salton Sea. Este trabajo utiliza fuentes bibliográficas publicadas y observaciones de campo para sacar conclusiones sobre el enterramiento, el ciclo y las emisiones de carbono, al mismo tiempo que tiene en cuenta los cambios esperados en dichos procesos en años futuros debido a una mayor eutrofización, aumentos de salinidad, y calentamiento y secado general del lecho del lago y las aguas superficiales. El modelo conceptual básico utilizado en este análisis es que la condición inicial justo antes de que la inundación del río Colorado creara el moderno Mar de Salton en 1905 representa la condición de fondo. La acumulación y pérdida de carbono, así como otros flujos de GEI, del sistema se estiman a partir de estos antecedentes de 1905.

La evidencia en la literatura sugiere que los lagos salinos son una fuente de flujo de dióxido de carbono a la atmósfera (Duarte et al., 2008), y los sedimentos de los lagos secos también son una fuente de dióxido de carbono (Keller et al. 2020). Otros GEI, en particular el metano y el óxido nitroso, también pueden ser fuentes potenciales del lago y se estiman en este enfoque, aunque los datos sobre estos GEI son menos abundantes. Dada la preocupación por las emisiones de GEI, generalmente utilizamos tasas de emisión más altas de los valores de la literatura para desarrollar estimaciones de flujo conservadoras. Las mediciones reales de los flujos de GEI relevantes son limitadas en el ecosistema del Mar Salton, y la recopilación de datos futuros puede refinar estas estimaciones. Sin embargo, a un alto nivel y con fines de planificación, la cantidad de carbono acumulado en el Mar Salton desde 1905 es una limitación importante sobre las emisiones potenciales a lo largo del tiempo. Los cálculos de acumulación de carbono y emisiones de GEI del siglo XX se basan en un área de lago y calidad del agua de ~2000, reconociendo que esta es una aproximación, ya que el lago ha cambiado en área y calidad del agua a lo largo de los años en este período. Sin embargo, los datos sobre la calidad del agua de las primeras décadas del siglo XX son prácticamente inexistentes.

Esta metodología utiliza las tasas de emisión del área del lago y del área expuesta del lecho del lago y se puede aplicar a diferentes conceptos de restauración presentados en este Plan a Largo Plazo. Cada concepto de restauración tiene diferentes superficies del mar y del fondo del lago expuesto.

El memorándum está organizado de la siguiente manera:

Sección 2: Descripción del Área de Estudio

Sección 3: Antecedentes y Suposiciones

Sección 4: Resumen de Valores de Referencia

Sección 5: Presupuesto de GHG de Salton Sea por Año (hasta 2100) y hasta la Fecha (desde 1905)

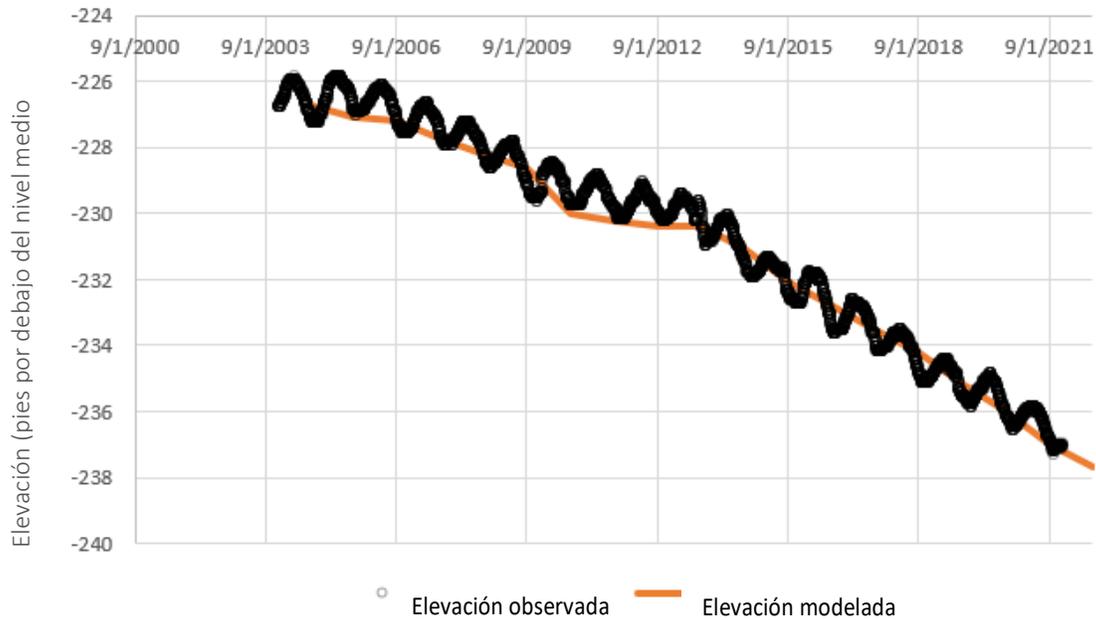
Sección 6: Conclusión

## 1.2 Descripción del Área de Estudio

### 1.2.1 Entradas de Agua

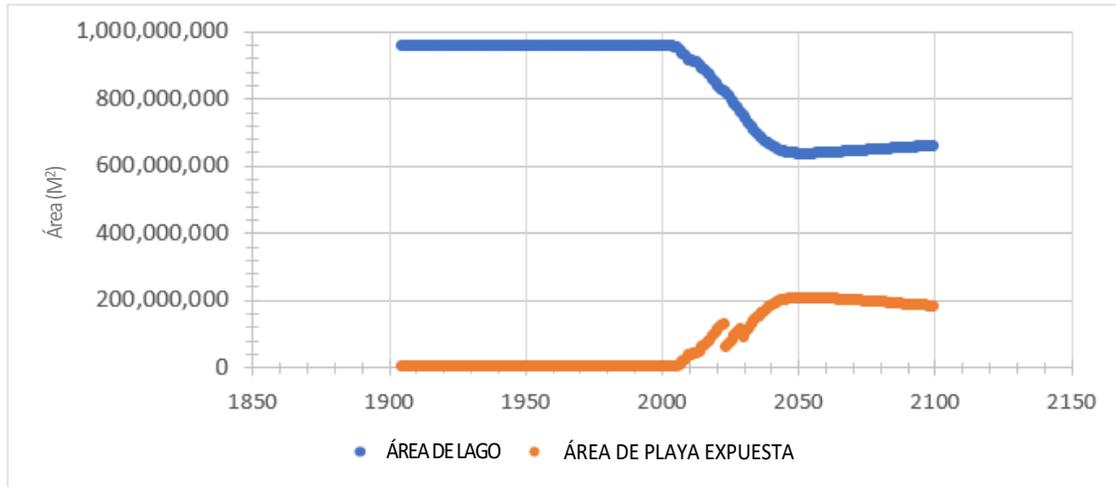
El Mar Salton está situado en el desierto de Sonora, en el sureste de California. El mar en sí se formó durante un período de 17 meses, desde octubre de 1905 hasta febrero de 1907, por la ruptura de un desvío temporal del río Colorado. La condición de fondo en este sistema representa la condición justo antes de la ruptura del desvío que creó el moderno Mar de Salton, y los flujos y el almacenamiento se estiman desde este punto de partida. Desde entonces, el Mar Salton se ha sustentado por descargas agrícolas, efluentes municipales e industriales y escorrentías de aguas pluviales de los valles Imperial, Coachella y Mexicali. Estos flujos llegan al Salton Sea a través de los ríos New, Alamo y Whitewater, además de algunas descargas de cuencas locales no calibradas. Con el tiempo, la evaporación y la reducción de las afluencias han provocado que la elevación del Mar Salton retroceda gradualmente. Se prevé que los aumentos de temperatura y evaporación exacerbados por el cambio climático, así como las disminuciones en la asignación de agua y la posterior afluencia, reducirán aún más el tamaño del Mar Salton y calentarán significativamente sus aguas.

Para caracterizar el volumen, el área y la salinidad futuros de Salton Sea, utilizamos un modelo simple de equilibrio de agua y sal denominado Modelo de Contabilidad de Salton Sea (Salton Sea Accounting Model, SSAM). Este es un modelo de hoja de cálculo desarrollado originalmente por la Oficina de Recuperación de EE. UU. en la década de 1990. A partir de 2014, Tetra Tech actualizó este modelo con los datos disponibles más recientes sobre entradas al lago, elevaciones y datos batimétricos; recalibró el modelo para que concuerde con las últimas observaciones de elevación y salinidad; y utilizó el modelo para varios estudios de conservación de Salton Sea. SSAM es un modelo de tipo “cubo” conceptualmente simple guiado por el equilibrio de masa de agua y sal en un intervalo anual. En la Figura 1, se muestra la elevación histórica reciente del lago en comparación con el cálculo de SSAM.



**Figura 1.** Gráfico de elevación observada (pies por debajo del nivel medio del mar con un datum NAVD88) y elevación modelada en Salton Sea. Los datos observados son del Estudio Geológico de EE. UU. y las elevaciones modeladas se calculan utilizando el SSAM, dadas las entradas medidas durante este período.

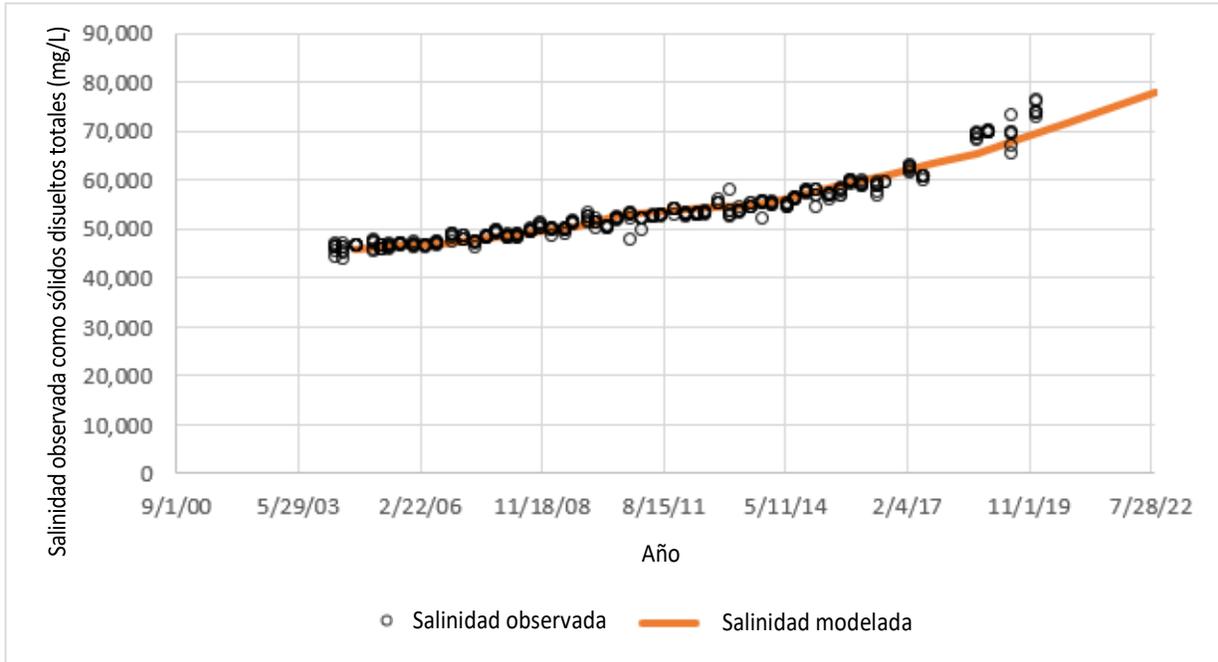
Se utilizó el SSAM para establecer el estado futuro de Salton Sea y el lecho del lago expuesto. El área proyectada del Lago y el lecho del lago expuesto durante el siglo 21 se calcularon utilizando el SSAM y se muestran en la Figura 2. La discontinuidad en el área expuesta del lecho del lago modelada, particularmente entre 2020 y 2030, refleja la reducción efectiva del área expuesta del lecho del lago luego de la finalización de los proyectos de hábitat como parte de la Fase 1: Plan de 10 Años. Las estimaciones de GHG resultantes se realizan en función de las contribuciones del lago modelado y las áreas expuestas del lecho del lago al enterramiento, el ciclo y las emisiones de carbono. Este apéndice presenta cálculos de GEI para las condiciones que se muestran en la Figura 2; El informe principal contiene cálculos utilizando tasas similares para las áreas del mar y del lecho del lago expuesto para diferentes conceptos de restauración.



**Figura 2.** Resultados de un modelo hidrológico de Salton Sea (SSAM) que muestra la reducción del área del lago durante la primera mitad del siglo 21 y el aumento correspondiente en el área expuesta del lecho del lago. Los resultados de este modelo se utilizarán para ajustar las estimaciones del enterramiento, el ciclo y las emisiones de carbono a lo largo del tiempo. Nótese que la discontinuidad en el área expuesta del lecho del lago modelada, particularmente entre 2020 y 2030, refleja la finalización esperada de los proyectos de restauración que reducirán efectivamente el área expuesta del lecho del lago. La suma del área expuesta de la playa y el área del lago son constantes (953.7 millones de m<sup>2</sup> o alrededor de 235,000 acres).

### 1.2.2 Salinidad

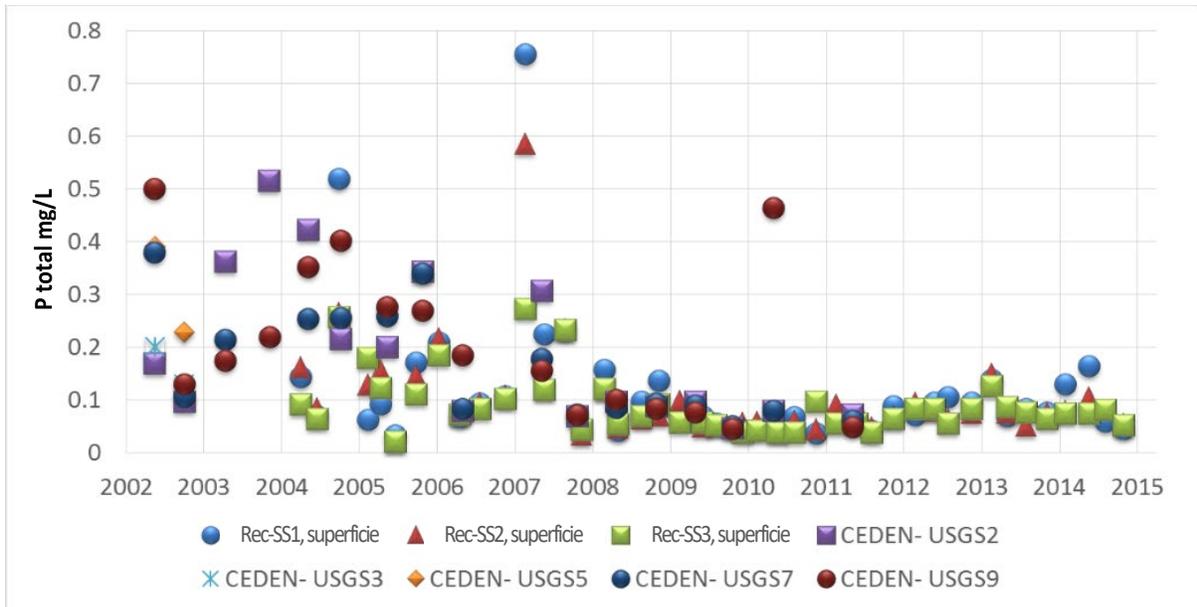
Salton Sea es un cuerpo de agua terminal. Como no hay salida, las sales y los nutrientes de las descargas agrícolas y municipales continuas se han acumulado y han aumentado substancialmente la salinidad del Lago. Actualmente, Salton Sea es más salino que el agua del océano (IID, 2022), y la concentración de sal en Salton Sea aumenta a una tasa de aproximadamente 1% anual (UCANR, 2022). La pronunciada evaporación y la posterior reducción del volumen de agua aumentarán aún más la salinidad con el tiempo. En la Figura 3, se muestra un gráfico de salinidad durante el período histórico reciente y los valores modelados usando el SSAM.



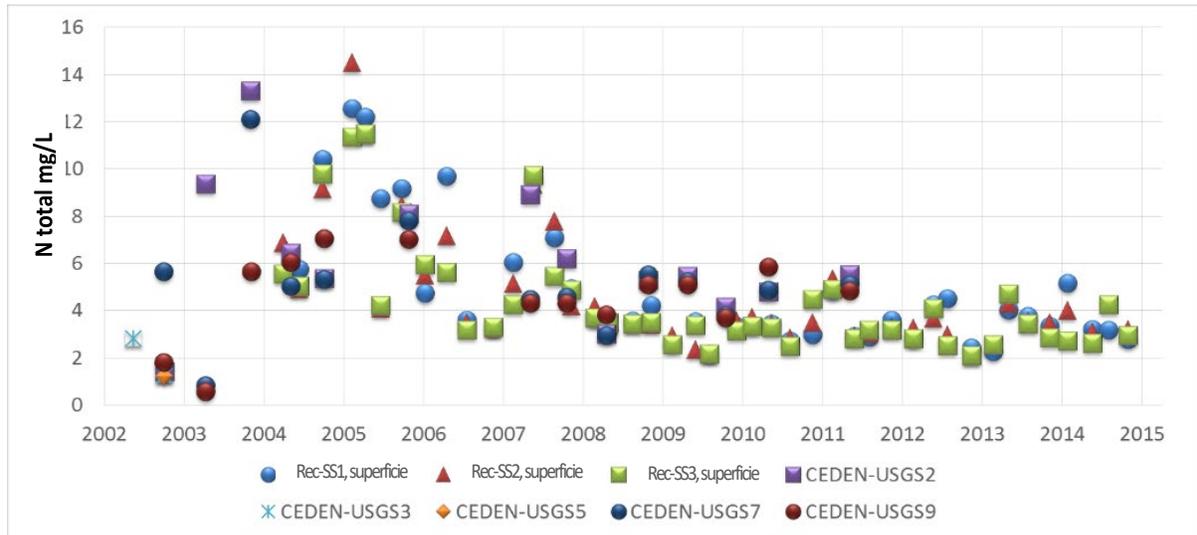
**Figura 3.** Gráfico de salinidad observada y salinidad modelada en Salton Sea. Los datos de salinidad observados provienen de la Oficina de Recuperación de EE. UU. y la salinidad modelada se calculó utilizando el SSAM, dadas las entradas medidas durante este período.

### 1.2.3 Eutrofización

La carga continua de nutrientes del drenaje agrícola también ha convertido a Salton Sea en un ecosistema de agua salada productivo que se clasifica como un “cuerpo de agua eutrófico a hipereutrófico caracterizado por altas concentraciones de nutrientes; alta biomasa de algas, como lo demuestra la alta concentración de clorofila *a*; alta productividad de peces; baja transparencia; concentraciones muy bajas de oxígeno disuelto frecuentes; muertes masivas de peces y olores nocivos” (Setmire et al., 2000). La gran falta de oxígeno y la consiguiente formación de zonas anóxicas indican que la productividad biológica de Salton Sea excede la capacidad del sistema para sustentarlo (Setmire et al., 2000). En la Figura 4 y la Figura 5, se muestran los datos representativos de fósforo y nitrógeno de 2002 a 2015 (Tetra Tech, 2016).



**Figura 4.** Datos observados de fósforo total en Salton Sea. Resumen de fuentes de datos observados informados en Tetra Tech (2016). El prefijo Rec se refiere a datos de la Oficina de Recuperación. El prefijo CEDEN se refiere a datos de la Red de Intercambio de Datos Ambientales de California (California Environmental Data Exchange Network). El nombre del lugar de obtención de muestras aparece después del guion.



**Figura 5.** Datos observados de nitrógeno total en Salton Sea. Resumen de fuentes de datos observados informados en Tetra Tech (2016). El prefijo Rec se refiere a datos de la Oficina de Recuperación. El prefijo CEDEN se refiere a datos de la Red de Intercambio de Datos Ambientales de California (California Environmental Data Exchange Network). El nombre del lugar de obtención de muestras aparece después del guion.

Se espera que la combinación de calentamiento, secado, aumento de la salinidad y eutrofización influya en los procesos biológicos, químicos y físicos que tienen lugar dentro de la columna de agua y en el lecho del lago. A su vez, estas condiciones y procesos tendrán un impacto en el presupuesto de GHG de Salton Sea.

### 1.2.4 Carbon

Las concentraciones de carbono en el Mar de Salton y sus entradas proporcionan un contexto para los posibles niveles de emisión. Las concentraciones de carbono orgánico e inorgánico medidas en la afluencia de los ríos Álamo, New y Whitewater y en el Mar Salton se presentan en las Figuras 6 y 7. Con base en afluencias de aproximadamente 1,2 millones de acres-pie al año a 10 mg/l de carbono orgánico total, las cargas de carbono orgánico estimadas en el Mar Salton son de 0,015 millones de toneladas por año. De manera similar, a 4 mmol de carbono/l de carbono inorgánico, la carga de carbono inorgánico es de 0,072 millones de toneladas por año.

El carbono que ingresa es solo una parte del carbono en el Mar, y la mayor parte deriva de la producción primaria en las aguas del Mar, como lo indican las concentraciones de carbono orgánico total considerablemente más altas en el Mar en comparación con las afluencias de los ríos (Figura 7).

Duarte et al., (2008), por ejemplo, a partir de un estudio global de lagos salinos informaron que estos lagos tienen una concentración media de carbono inorgánico disuelto de 7,7 mmol/L, alrededor de 10 a 15 veces mayor que la concentración de un lago de agua dulce típico., y son una fuente importante de flujo de CO<sub>2</sub>. Los valores de este estudio global son comparables a las concentraciones de carbono inorgánico reportadas en el Mar (Figura 7), y pueden relacionarse con una parte de los flujos de CO<sub>2</sub> del Mar.

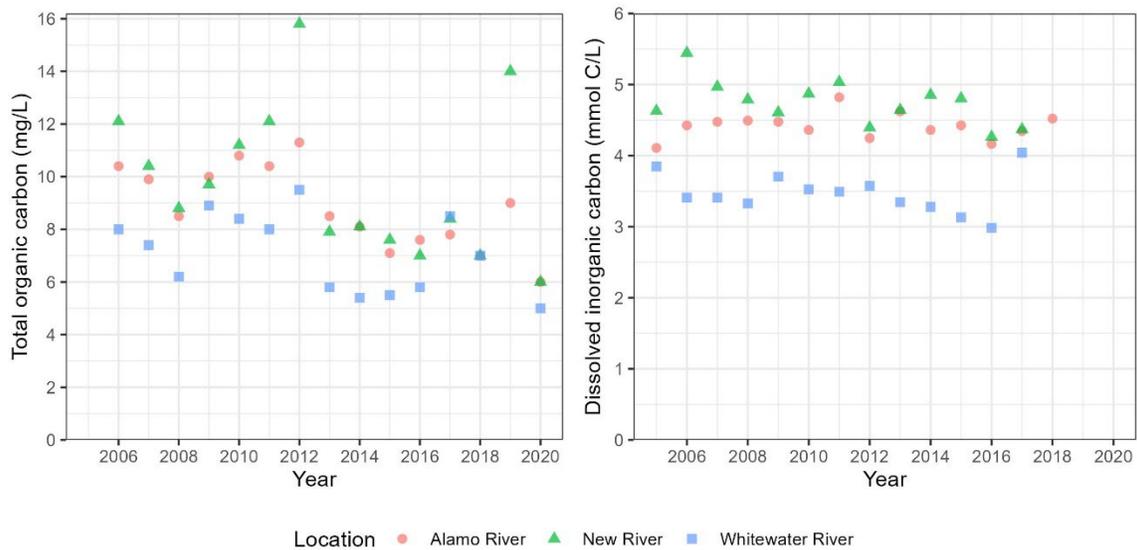


Figura 6. Concentraciones de carbono orgánico e inorgánico entrantes medidas en el Río Alamo, New y Whitewater River.

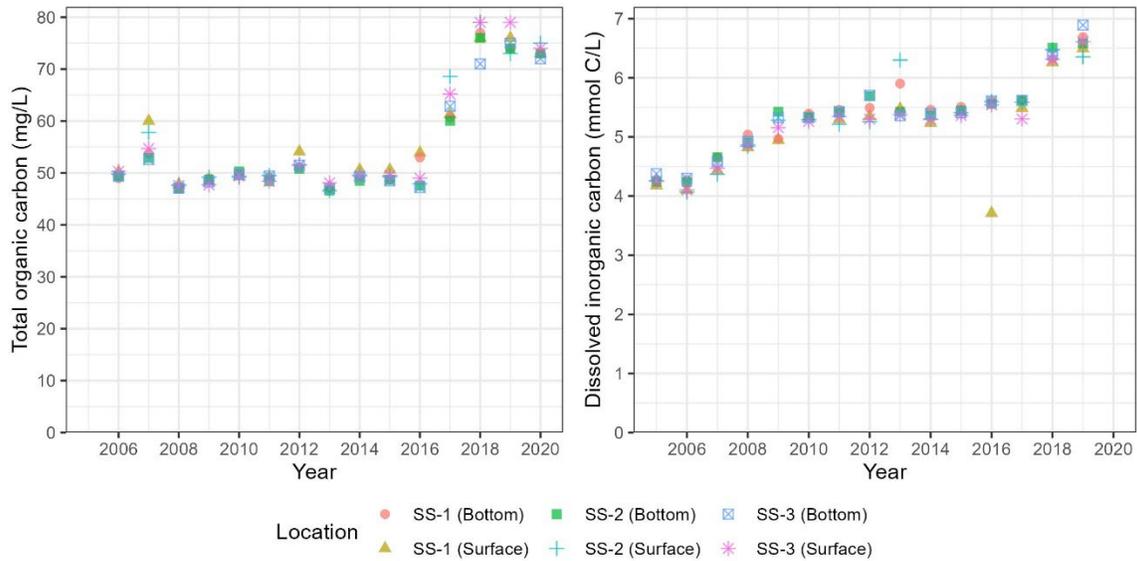
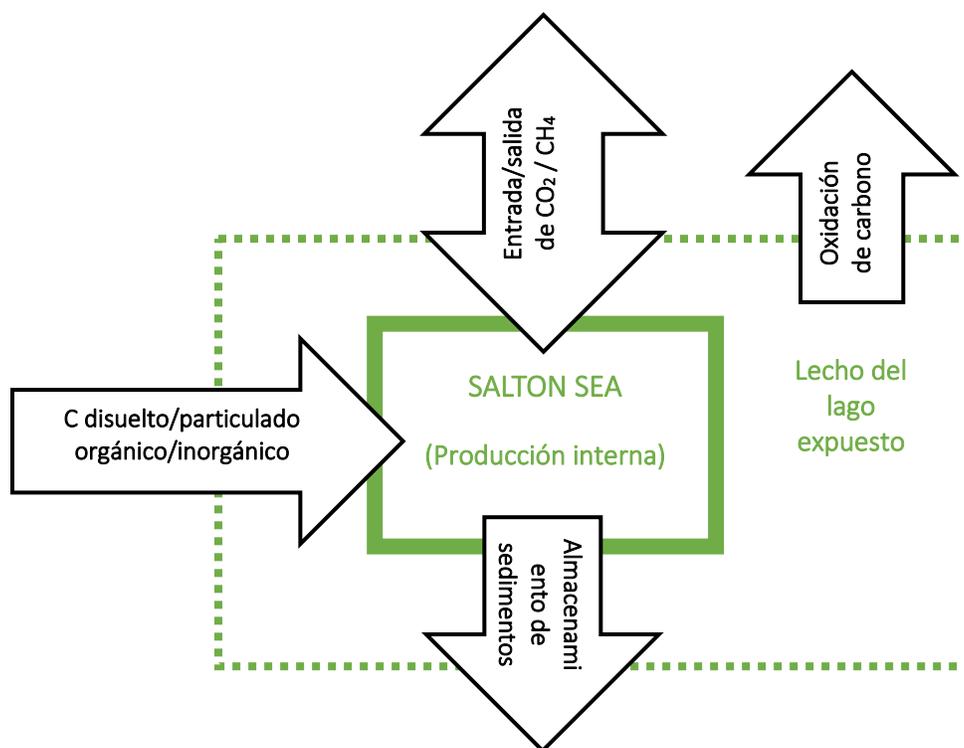


Figura 7. Concentraciones de carbono orgánico e inorgánico medidas en Salton Sea.

### 1.3 Antecedentes y Suposiciones

Los cuerpos de agua continentales son un componente importante del ciclo global del carbono. La cuantificación de las emisiones netas de carbono de lénticos (cuerpos de agua quieta, incluidos lagos, estanques y embalses) y lóticos (cuerpos de agua que fluyen, como ríos y arroyos) tiene implicancias importantes para los presupuestos de carbono regionales y mundiales (Clow et al., 2015; Raymond et al., 2013).

Dentro de un ambiente lacustre, se llevan a cabo numerosos procesos relacionados con el carbono. El carbono ingresa a los lagos desde el caudal corriente arriba, las entradas de agua subterránea, la deposición atmosférica o la fijación del  $\text{CO}_2$  atmosférico por macrófitos emergentes (Travnik et al., 2009). La producción primaria en las aguas superficiales de los lagos también secuestra  $\text{CO}_2$  en forma de carbono orgánico. El carbono se pierde a través de la sedimentación de carbono orgánico e inorgánico, la salida de  $\text{CO}_2$  a la atmósfera y los caudales corriente abajo a través de arroyos y agua subterránea (Travnik et al., 2009). Dentro de la columna de agua, los organismos acuáticos realizan respiración/oxidación aeróbica y anaeróbica, que liberan  $\text{CO}_2$  y  $\text{CH}_4$ , respectivamente, e incluso pueden facilitar la formación de carbonato. En la interrelación agua-sedimento, se produce el enterramiento de carbono orgánico e inorgánico formado por estos organismos. Además, se pueden producir descomposición microbiana y metanogénesis, y liberar así parte de este carbono secuestrado como  $\text{CO}_2$  y  $\text{CH}_4$ . Por lo tanto, el carbono se absorbe, recicla, entierra y emite de manera continua. Los muchos procesos de carbono dentro de un ambiente lacustre están representados por flechas de entrada y salida que se muestran en la Figura 8. Los lagos también pueden funcionar como fuentes o sumideros de óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), que se produce mediante nitrificación y desnitrificación. (Travnik et al., 2009).



**Figura 8.** Un diagrama de flujo que muestra los principales procesos relacionados con el carbono en el ecosistema de Salton Sea. El objetivo de este memorándum es estimar las magnitudes de cada una de estas flechas.

Para estudiar las emisiones netas de GHG de los cuerpos de agua lénticos, como Salton Sea, se utilizó la información de referencia de esta sección para comprender el consumo y la producción de carbono (en forma de  $\text{CO}_2$  y  $\text{CH}_4$ ) y  $\text{N}_2\text{O}$  por microorganismos en el sistema lacustre. Todos los procesos están mediados por la geología, la biología y/o la química, y se ven afectados por el cambio climático y las actividades humanas en los asentamientos que rodean el Lago, como se analiza a continuación.

El cálculo de las tasas y cantidades de los procesos individuales para estimar las emisiones netas de GEI se basó en la literatura existente y, además, se basó en las condiciones climáticas y acuáticas del Mar Salton. Teniendo en cuenta los datos limitados en el Mar Salton, especialmente las mediciones relacionadas con variables clave de los procesos involucrados (incluida la presión parcial atmosférica de  $\text{CO}_2$  y el carbono orgánico de los sedimentos), las tasas en el Mar Salton se identificaron basándose en los resultados de estudios similares y en base a múltiples factores como el clima, la eutrofización y la salinidad. Por lo tanto, la estimación actual de las emisiones netas de GEI en Salton Sea está sujeta a una incertidumbre considerable; Se recomiendan mediciones locales adicionales y se espera que aumenten la precisión de la estimación.

### 1.3.1 Entradas de Carbono

Las entradas de carbono terrestre en los sistemas lacustres varían según el clima, la textura del suelo, la geoquímica y el uso de la tierra (Travnik et al., 2009). El carbono se transporta desde la columna de agua hasta los sedimentos a través de la floculación del carbono orgánico, la incorporación al material biológico y la sedimentación de partículas de materia orgánica (Travnik et al., 2009). Juntos, estos procesos representan el potencial de un lago para el enterramiento de

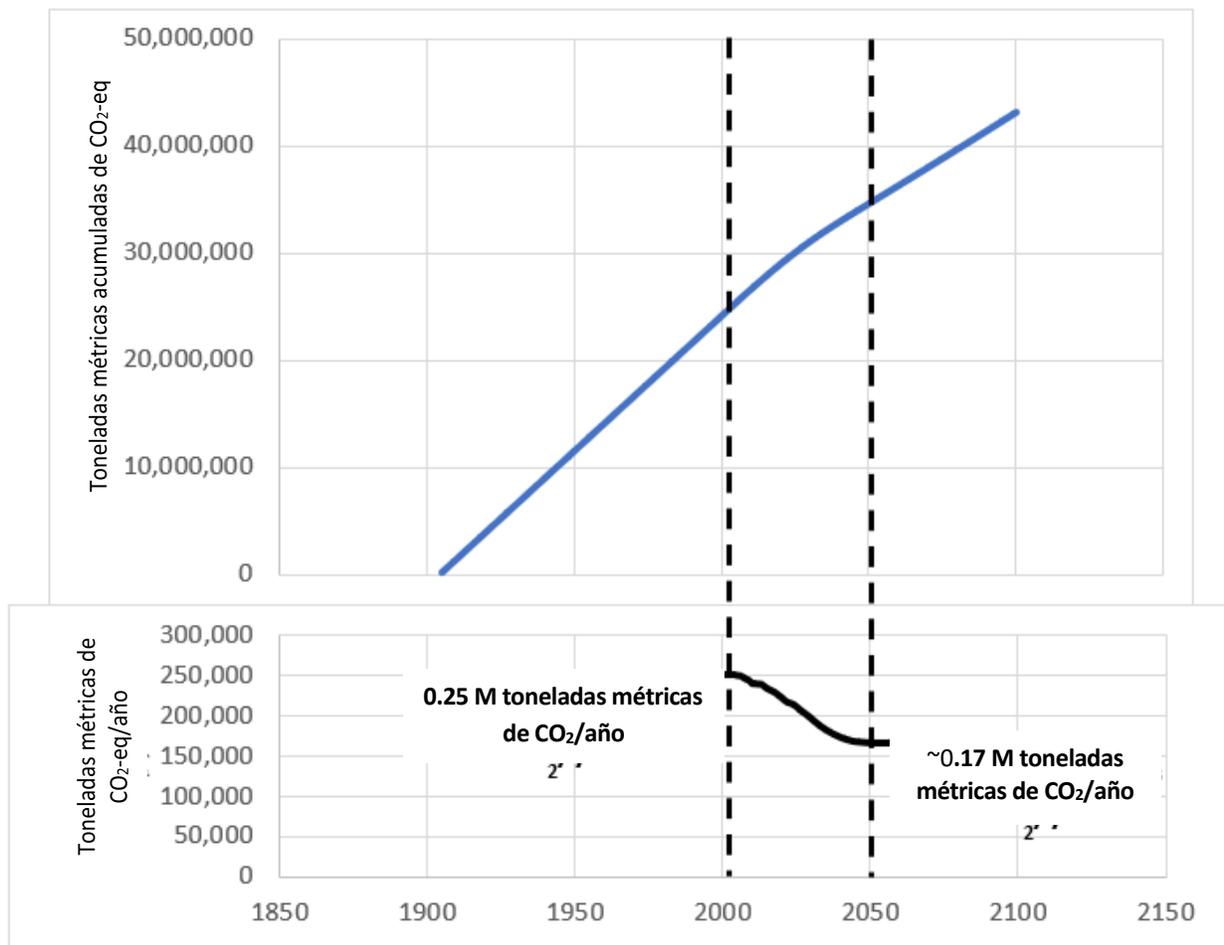
carbono. En la actualidad, los lagos rara vez se consideran en los cálculos o las estimaciones regionales del presupuesto de carbono terrestre; sin embargo, el enterramiento de carbono en los sedimentos lacustres es un importante sumidero global de carbono a largo plazo (Travnik et al., 2009). Un análisis a nivel nacional de las tasas de enterramiento de carbono orgánico (organic carbon, OC) muestra que los cuerpos de agua de los EE. UU. contiguos (conterminous U.S., CONUS) secuestran 20.8 billones de gramos de C (trillion grams of C, Tg C) por año y que los patrones espaciales en el enterramiento de OC están influenciados por factores que incluyen el tipo de cuerpo de agua, el tamaño y la abundancia, el uso de la tierra y las características del suelo y la vegetación (Clow et al., 2015).

Las estimaciones del enterramiento de OC se desarrollaron a partir de estimaciones de la bibliografía. Aunque hay datos limitados de sedimentos de Salton Sea, estos no se han evaluado previamente para las tasas de enterramiento de OC. Las tasas de enterramiento de carbono orgánico e inorgánico suelen ser más altas en lagos pequeños y eutróficos, donde los sedimentos recolectados de la cuenca quedan retenidos durante largos períodos y pueden mineralizarse o enterrarse (von Wachenfeldt et al., 2008). El enterramiento de OC en cuerpos de agua lénticos interiores se estudia a través de experimentos de campo que implican la recolección de núcleos de sedimentos y el cálculo de la proporción de carbono orgánico dentro de la muestra, al mismo tiempo que se tienen en cuenta las estimaciones de las tasas de acumulación de masa, la eficiencia del enterramiento y otras respuestas a variables geomórficas, climáticas y de uso/cobertura del suelo. Las concentraciones de OC en dichos núcleos de sedimentos han demostrado una alta dependencia de la temperatura media anual del aire, debido a su impacto en la productividad del ecosistema, y del factor  $k$  del suelo (una medida de la erosionabilidad del suelo), debido a cómo la erosión introduce materia mineral en los sedimentos (Clow et al., 2015). El estado eutrófico del sistema de Salton Sea sugiere que tiene un alto potencial para enterrar OC, el cual aumentará con los aumentos proyectados en las temperaturas medias anuales del aire. Además, la reducción de las afluencias a lo largo del tiempo ha creado una capa costrosa y de baja humedad, compuesta en más del 70% por arena y limo (Gao et al., 2021). Esto significa que el suelo tiene un factor  $k$  de moderado a alto, lo que indica una mayor erosionabilidad que los suelos de textura fina compuestos principalmente de arcilla, por ejemplo (USDA, 2022). Sin embargo, la composición del suelo es heterogénea alrededor del Mar Salton y puede incluir más arcilla en algunas áreas (Setmire et al., 1993). Se construyeron modelos estadísticos en Mendonça et al., (2017) para estudiar las tasas de entierro de CO modernos de lagos y embalses a escala global y los resultados sugieren que la tasa de entierro está correlacionada positivamente con la temperatura promedio anual y negativamente con el lago/embalse tamaño y pendiente media.

Se ha demostrado que el enterramiento de OC en lagos/estanques en CONUS sigue una distribución logarítmica normal con una mediana de 31 g C/m<sup>2</sup>/año y una media de 46 g C/m<sup>2</sup>/año (Clow et al., 2015). Los aumentos recientes en el secuestro de carbono por parte de los lagos han sido impulsados por el cambio de la cobertura de la tierra, que en general ha aumentado la disponibilidad de nutrientes, la productividad acuática y, por lo tanto, el enterramiento de CO en los lagos (Anderson et al., 2013). Con base en la expansión agrícola en California y las tendencias en las cargas de nutrientes en Salton Sea, es razonable concluir que el ecosistema de Salton Sea ha experimentado y continuará experimentando tasas de enterramiento de OC impulsadas por la productividad similares. Las tasas modernas de entierro de CO en los lagos se estiman en 72 g C/m<sup>2</sup>/año para las regiones hidrológicas de la Gran Cuenca y California del Servicio Geológico de los EE. UU., y los sedimentos de los lagos contienen aproximadamente un 6,2 % de carbono (Clow et

al., 2015). Además, considerando varios factores, incluidos la temperatura, el tamaño, la pendiente del Mar Salton y el flujo entrante y las concentraciones de carbono orgánico en el mar, se asumió y utilizó una tasa de entierro de OC de 72 g C/m<sup>2</sup>/año.

Con base en estas estimaciones y en los cambios en el lago y en el área expuesta del lecho del lago, como se sugiere en la Figura 2, el entierro de CO en el mar se estimó en 0,25 millones (M) de toneladas métricas de CO<sub>2</sub>-eq/año entre 1905 y 2004. Después de 2004, las disminuciones en el lago se supuso que el área había disminuido la masa de entierro de OC, pero se supuso que la tasa de entierro de 72 g C/m<sup>2</sup>/año permaneció constante. Para este escenario de afluencia, después de 2050, se modeló que el área del lago habría alcanzado un tamaño estable que podría enterrar aproximadamente 0,17 millones de toneladas métricas de CO<sub>2</sub>-eq/año. En la Figura 9 se muestran estimaciones anuales y acumulativas del entierro de CO<sub>2</sub>-eq. Estas cifras pueden compararse con las aproximadamente 0,015 toneladas de carbono orgánico en las entradas (o 0,055 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>-eq). Por lo tanto, la mayor parte del CO<sub>2</sub>-eq que se acumula proviene de la producción de carbono en el mar.



**Figura 9.** Arriba: Toneladas métricas acumuladas estimadas de CO<sub>2</sub>-eq de OC enterradas en sedimentos lacustres de Salton Sea. Abajo: Toneladas métricas estimadas de CO<sub>2</sub>-eq de OC enterradas por año en los sedimentos lacustres de Salton Sea. Tanto la figura de arriba como la de abajo se calcularon usando una tasa de enterramiento estimada de 72 g C/m<sup>2</sup>/año para los lagos en el oeste de los EE. UU. (Clow et al., 2015) y en función de las suposiciones del área del lago y los modelos hidrológicos utilizados para respaldar el desarrollo de la Figura 2.

La tasa de enterramiento estimada de 72 g C/m<sup>2</sup>/año es coherente con las observaciones de la tasa de enterramiento de OC en lagos eutróficos de Europa, que a su vez muestran tasas de enterramiento que oscilan entre 60 y 100 g C/m<sup>2</sup>/año (Anderson et al., 2014). Sin embargo, un estudio del enterramiento de OC en estanques de granjas eutróficas en Iowa revela tasas de enterramiento de OC mucho mayores y muy variables que oscilan entre 148 y 17,000 g C/m<sup>2</sup>/año (Downing et al., 2008). Este último estudio incluye un análisis de regresión múltiple que considera la relación entre el área de la cuenca y el lago, y la densidad aparente del sedimento para estimar el enterramiento de OC que podría usarse para refinar las estimaciones de la tasa de enterramiento de OC para Salton Sea. Sin embargo, según estos estudios adicionales, 72 g C/m<sup>2</sup>/año es una tasa de enterramiento conservadora que se puede usar para estimar el secuestro de carbono por parte del ecosistema de Salton Sea. Como se señaló anteriormente, esta estimación se basa en una evaluación de la bibliografía, y el trabajo de campo futuro en Salton Sea puede ayudar a desarrollar estimaciones refinadas que capturen sus características únicas.

### 1.3.2 Salidas de Carbono

#### 1.3.2.1 Interrelación Agua-Atmósfera

El CH<sub>4</sub> es el GHG más importante emitido por los sistemas acuáticos en términos de impactos climáticos porque el CH<sub>4</sub> es aproximadamente 25 veces más potente como GHG que el CO<sub>2</sub> en una escala de tiempo de 100 años (Del Sontro et al., 2018; IPCC, 2013). El flujo total de CH<sub>4</sub> de un lago incluye el flujo de difusión y de ebullición de la columna de agua. El flujo de difusión es la tasa de flujo del agua a la atmósfera y es impulsado por la sobresaturación en la columna de agua. El flujo de ebullición es la tasa de flujo de la formación de burbujas que se transportan a la superficie. El flujo de ebullición está directamente relacionado con la actividad biológica en la columna de agua, mientras que el flujo de difusión está mediado principalmente por la temperatura del agua.

Las tasas de emisión de CH<sub>4</sub> están influenciadas principalmente por la productividad biológica de la capa de agua superficial de lagos y embalses (flujo ebulitivo). Se estima que un aumento del triple en la carga de fósforo puede causar un aumento del doble en las tasas de emisiones de CH<sub>4</sub> (Beaulieu et al., 2019). En general, se espera que dos mecanismos aumenten la productividad acuática de los lagos durante el siglo 21:

1. Aumentos en el uso de fertilizantes y el escurrimiento de nutrientes de los ecosistemas agrícolas y ganaderos en expansión, que sustentan poblaciones en aumento, y
2. Aumentos de la temperatura del agua generados por el clima, lo que aumentará la descomposición bacteriana de las algas y la emisión resultante de CH<sub>4</sub>.

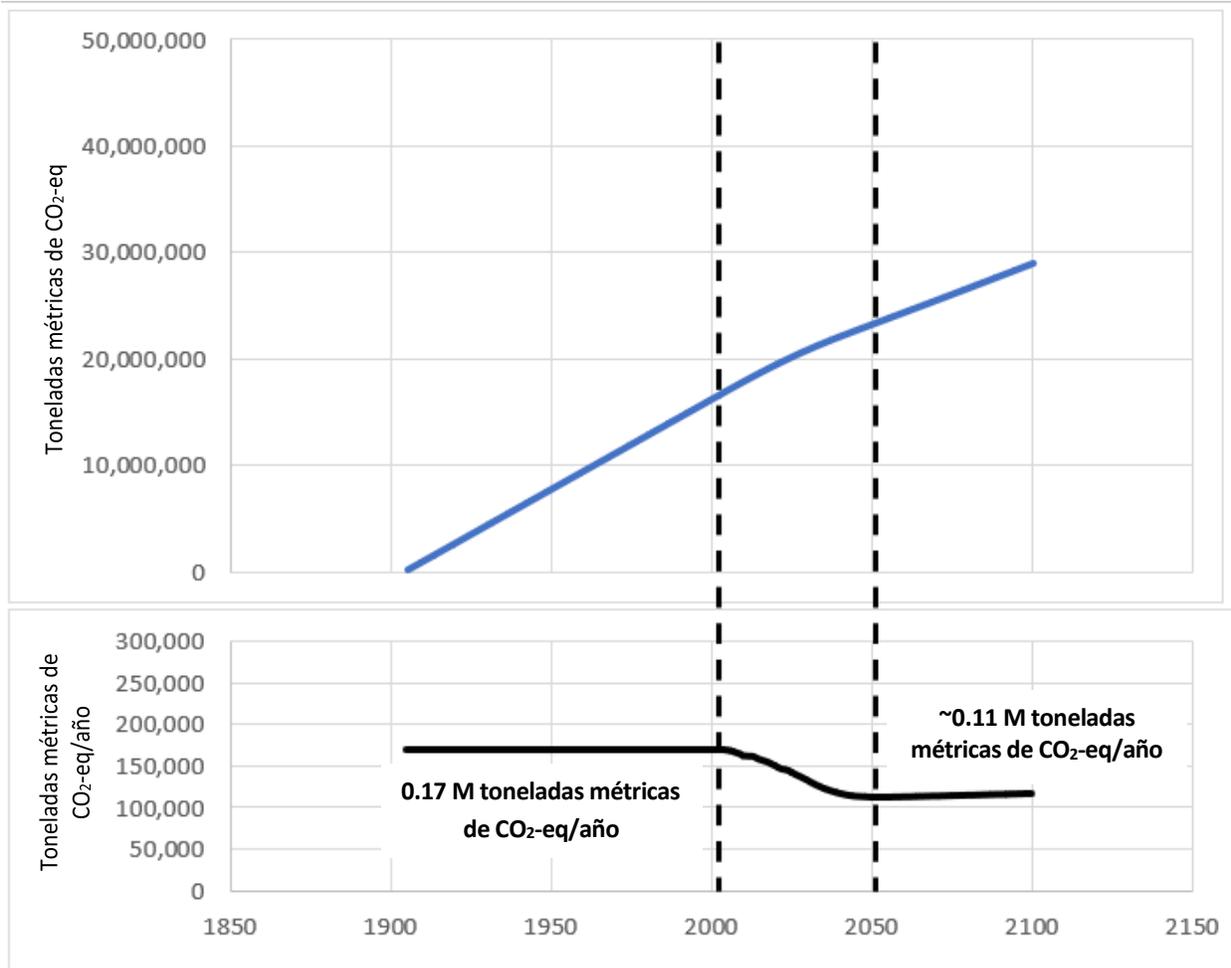
DelSontro et al. (2018) estudiaron 8,233 sistemas acuáticos (incluidos lagos y embalses) de 54 países diferentes para desarrollar un modelo global para estimar las emisiones totales de CH<sub>4</sub>. Las variables que se consideraron incluyen el tamaño del lago, la concentración de clorofila *a* (un indicador de la productividad biológica) y las concentraciones totales de nitrógeno y fósforo (nutrientes); sin embargo, se encontró que la siguiente relación predijo de manera suficiente las tasas totales de emisiones de CH<sub>4</sub> a partir de la concentración de clorofila *a* sola:

$$\log_{10}(\text{tasa de emisión total de CH}_4 + 1) = 0.778 \times \log_{10}(\text{clorofila } a) + 0,940,$$

donde las emisiones están expresadas en mg C/m<sup>2</sup>/día y la clorofila *a*, en µg/L.

La estimación de las emisiones totales de CH<sub>4</sub> supone que la concentración de clorofila *a* se mantiene estable en 33,4 µg/L, que es el nivel de concentración promedio anual basado en las mediciones realizadas entre 1997 y 1999 en el Mar Salton (Robertson et al., 2008). ; Tiffany et al., 2007). Así,  $\log_{10}(33,4) = 1,52$  y tasa de emisión total de CH<sub>4</sub> =  $-1 + 10^{0.778 \times 1,52 + 0,940} = 131,61$  mg C/m<sup>2</sup>/día. Esta tasa estimada de 131,61 mg C/m<sup>2</sup>/día es consistente con las estimaciones obtenidas por Yan et al., (2018) para 17 lagos (14 lagos salinos) en la meseta tibetana, que mostraron un amplio rango (0,1 a 551 mg C /m<sup>2</sup>/día, con un promedio de 62,4 mg C/m<sup>2</sup>/día) de tasas de flujo de CH<sub>4</sub> para los 17 lagos. Dadas las condiciones del Mar Salton y la cantidad limitada de mediciones, 131,61 mg C/m<sup>2</sup>/día de tasa de flujo de CH<sub>4</sub> está dentro del rango de observaciones de otros lagos salinos.

Utilizando esta estimación y los cambios en el área del lago y del lecho del lago expuesto, como se sugiere en la Figura 2, las emisiones de CH<sub>4</sub> de Salton Sea se estimaron en 0.17 M de toneladas métricas de CO<sub>2</sub>-eq/año desde 1905 hasta 2004. Después de 2004, se supuso que las disminuciones en el área del lago habían disminuido las emisiones de CH<sub>4</sub>, pero se supuso que la tasa de enterramiento de 131 mg C/m<sup>2</sup>/año permaneció constante. Después de 2050, se modeló que el área del lago habría alcanzado un nuevo equilibrio que emitirá aproximadamente 0.11 M de toneladas métricas de CO<sub>2</sub>-eq/año (Figura 10).



**Figura 10.** Arriba: Toneladas métricas acumuladas estimadas de CO<sub>2</sub>-eq de emisiones de CH<sub>4</sub> del área del lago de Salton Sea. Abajo: Toneladas métricas acumuladas estimadas de CO<sub>2</sub>-eq de emisiones de CH<sub>4</sub> por año del área del lago de Salton Sea. Tanto la figura de arriba como la de abajo se calculan utilizando una tasa de emisión estimada de 131.61 mg de CH<sub>4</sub>-C/m<sup>2</sup>/año, suponiendo que la concentración de clorofila *a* es constante en 33.4 µg/L (DelSontro et al., 2018; Beaulieu et al., 2019; Robertson et al., 2008) y en base a las suposiciones del área del lago y los modelos hidrológicos utilizados para respaldar el desarrollo de la Figura 2.

Un enfoque más refinado para calcular las emisiones de CH<sub>4</sub> de Salton Sea desde su formación en 1905 consideraría la medida en que el estado eutrófico del Lago, la productividad biológica y la degradación microbiana impulsada por la temperatura han evolucionado con el tiempo. Las estimaciones de las tasas de emisión de CH<sub>4</sub> en otros lagos se pueden aplicar a Salton Sea comparando los indicadores clave del ecosistema, como el cambio en el % de agricultura en la cuenca (que indica el cambio en el uso de la tierra), el fósforo y nitrógeno total (que indican el escurrimiento) y la concentración de clorofila *a* (que indica productividad biológica). Además, las predicciones del cambio global del uso de la tierra, las interrupciones de los ciclos de nutrientes y los escenarios climáticos más cálidos pueden afectar las suposiciones de la tasa de enterramiento para la planificación futura.

Los datos de clorofila *a*, indicativos de algas planctónicas y floraciones de algas, pueden variar con el tiempo. Los datos recopilados por la Oficina de Recuperación entre 2004 y 2015 muestran que la concentración de clorofila *a* muchas veces excedía los 150 µg/L entre 2005 y 2007; sin embargo, de 2009 a 2015, por lo fue de alrededor de 30 µg/L, lo que sugiere que una concentración de 33.4 µg/L es una suposición válida para al menos la última década (Reclamation, 2007). Se desconoce la causa de esta disminución, porque el estado general de nutrientes del Lago todavía indica un exceso de nutrientes.

También se puede estimar el flujo de difusión de CO<sub>2</sub> desde la superficie del lago. La solubilidad de los GHG en el agua cambia con la temperatura. Además, la turbidez del agua superficial (representada por la zona de acción del viento [fetch]) puede estimular un flujo de entrada o salida más rápido. En los lagos salinos, los procesos químicos, como las reacciones de precipitación/disolución de carbonatos y la mejora química de las tasas de intercambio de CO<sub>2</sub> debido a la hidratación del CO<sub>2</sub> atmosférico directamente a bicarbonatos, son más frecuentes (Duarte et al., 2008). Por lo tanto, los lagos salinos soportan mayores tasas de intercambio de CO<sub>2</sub> con la atmósfera debido a la química del medio ambiente. El flujo de CO<sub>2</sub> depende de la pCO<sub>2</sub> (presión parcial de CO<sub>2</sub>) del agua superficial, la temperatura del agua superficial y la mejora química de la tasa de intercambio de gases (detallada anteriormente). Se demostró que la mejora química por sí sola aumenta los flujos promedio de CO<sub>2</sub> en un factor de 2.3 (Duarte et al., 2008). Además, la eutrofización puede amplificar o revertir algunas de estas mejoras químicas debido a su efecto sobre el ciclo del carbono (Morales-Williams et al., 2021).

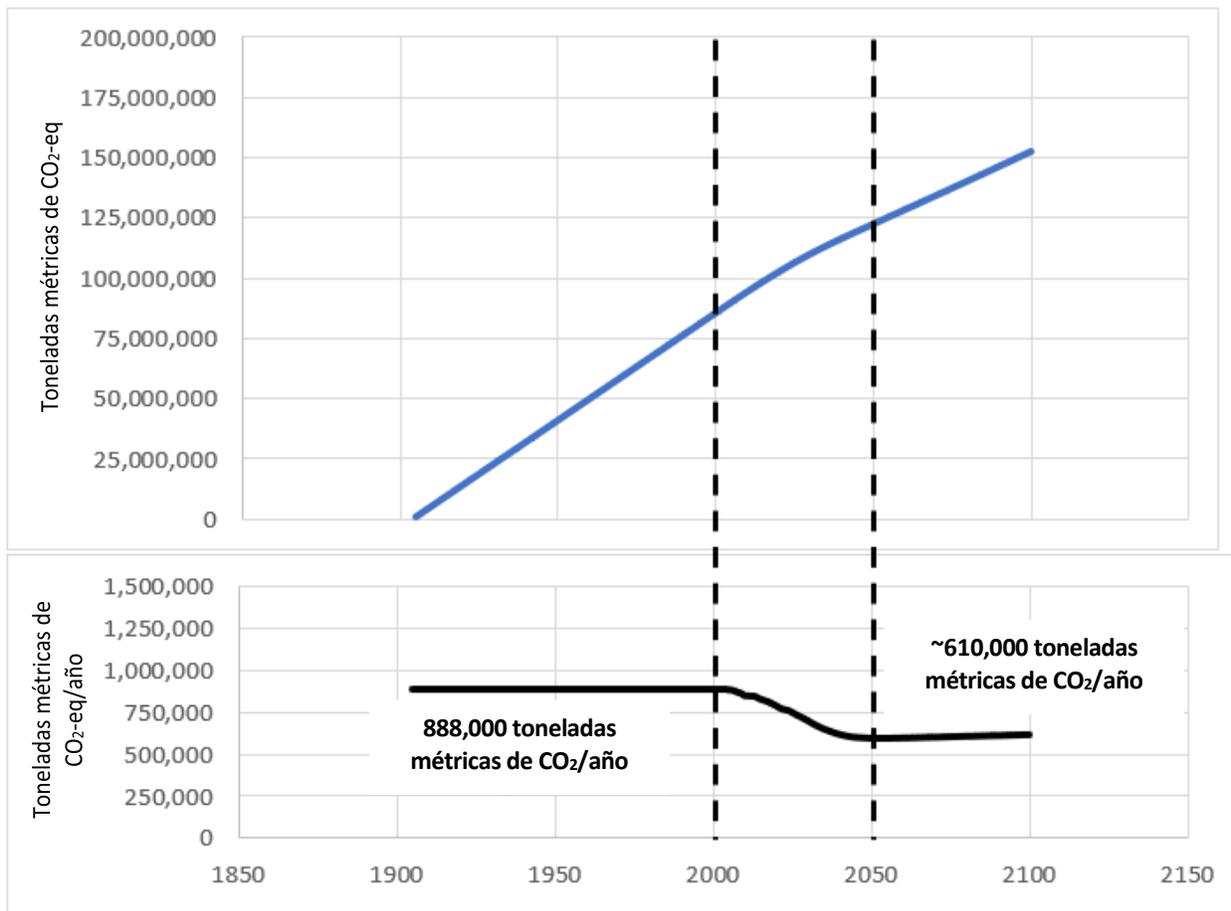
La tasa de enterramiento de CO previamente establecida se estimó en 72 g C/m<sup>2</sup>/año o 16.4 mmol C/m<sup>2</sup>/día (Clow et al., 2015). Clow et al. (2015) también establecen que el 72% de la estimación del enterramiento total de OC en cuerpos de agua CONUS (incluidos lagos y embalses) se emite como CO<sub>2</sub> (Clow et al., 2015). El 72% de 16.4 mmol C/m<sup>2</sup>/día es aproximadamente 11.8 mmol C/m<sup>2</sup>/día.

En la literatura se pueden encontrar estimaciones adicionales del flujo de CO<sub>2</sub> para comparar. El flujo de CO<sub>2</sub> calculado para 15 lagos eutróficos poco profundos en Iowa osciló entre -0,01 y 0,05 mol C/m<sup>2</sup>/día (-10 a 50 mmol C/m<sup>2</sup>/día) (Morales-Williams et al., 2021). Un estudio de 196 lagos salinos distribuidos globalmente muestra que el flujo de CO<sub>2</sub> promedió 81 mmol C/m<sup>2</sup>/día (Duarte et al., 2008). Las emisiones de CO<sub>2</sub> están correlacionadas con el tamaño del lago y el fósforo total, como se analiza en DelSontro et al. (2018); y se puede estimar una tasa de 18,0 mmol C/m<sup>2</sup>/día utilizando la ecuación empírica derivada de DelSontro et al. (2018) basándose en el tamaño actual del Mar Salton y las concentraciones limitadas de fósforo total. Yan et al., (2018) estudiaron 17 lagos en la meseta tibetana (14 de ellos son lagos salinos) y la tasa de flujo de CO<sub>2</sub> estimada fue de 73,7 mmol C/m<sup>2</sup>/día como promedio de los 17 lagos. Como se mencionó en la sección anterior, los resultados de Yan et al., (2018) también indican que el flujo de CO<sub>2</sub> es mayor para los lagos con mayores concentraciones de carbono orgánico disuelto, salinidad, temperatura del agua y también concentraciones de carbono inorgánico disuelto. McDonald y col. (2013) estudiaron el flujo medio de CO<sub>2</sub> en diferentes ecorregiones de EE. UU. y sugieren una estimación de 0,29 g C/m<sup>2</sup>/día o 24,2 mmol C/m<sup>2</sup>/día con un intervalo de confianza del 95% de 5,8 a 58 mmol C/m<sup>2</sup>/día para la ecorregión en la que se encuentra Salton Sea.

Estos estudios sugieren que el Mar Salton, una masa de agua interior eutrófica, salina y cálida con altas concentraciones de carbono orgánico e inorgánico, es muy probablemente un emisor neto de CO<sub>2</sub> y con una tasa de emisión de CO<sub>2</sub> relativamente alta. Se utiliza una tasa de flujo de 58

mmol C/m<sup>2</sup>/día, que es la tasa superior del estudio de McDonald et al. (2013). Tenga en cuenta que esto es mucho más alto que los 11,8 mmol C/m<sup>2</sup>/día sugeridos por Clow et al. (2015); sin embargo, asumimos que el efecto de la eutrofización y la salinidad sobre el flujo de difusión de CO<sub>2</sub> está enmascarado en un estudio global de este tipo y estaría representado por el límite superior del estudio específico de la región de McDonald et al. (2013).

Utilizando esta estimación y los cambios en el lago y el área expuesta del lecho del lago como se sugiere en la Figura 2, el flujo de CO<sub>2</sub> del Mar Salton se estimó en 888.000 toneladas métricas de CO<sub>2</sub>/año entre 1905 y 2004. Esta es una estimación final más alta del impacto de GEI del Salton. Mar, suponiendo que la calidad del agua fuera aproximadamente la misma durante el primer siglo de su existencia. En otras palabras, esta estimación se basa en la superficie del mar y no en la calidad cambiante del agua, para la cual existen datos limitados a largo plazo además de la salinidad. Después de 2004, se supone que las disminuciones en el área del lago han disminuido el flujo de CO<sub>2</sub>, pero se supuso que la tasa de flujo de 58 mmol C/m<sup>2</sup>/día permanece constante. Después de 2050, se modeló que el área del lago habrá alcanzado un nuevo equilibrio que emitirá aproximadamente 610.000 toneladas métricas de CO<sub>2</sub>/año (Figura 11).



**Figura 11.** Arriba: Toneladas métricas acumuladas estimadas de emisiones de CO<sub>2</sub> del área del lago de Salton Sea. Abajo: Toneladas métricas estimadas de emisiones de CO<sub>2</sub> por año del área del lago de Salton Sea. Tanto la figura de arriba como la de abajo se calculan usando una tasa de emisión estimada de 58 mmol C/m<sup>2</sup>/día (McDonald et al., 2013) y en función de las suposiciones del área del lago y los modelos hidrológicos utilizados para respaldar el desarrollo de la Figura 2.

### 1.3.2.2 Interrelación Sedimento-Atmósfera

La desecación intermitente o permanente o completa de las aguas continentales debido al cambio climático, el desvío y/o el uso para el consumo de los recursos hídricos y otras modificaciones de los cuerpos de agua y el ciclo hidrológico exponen sedimentos previamente sumergidos en la atmósfera (Keller et al., 2020; Marce et al., 2019). Este secado de las aguas continentales permite la oxidación del carbono orgánico en los sedimentos, lo que provoca la liberación de carbono a la atmósfera. Este flujo de carbono se debe a la actividad enzimática y al crecimiento microbiano, lo que produce como resultado las emisiones de CO<sub>2</sub> de los sedimentos secos (Keller et al., 2020; Fromin et al., 2010). El inicio del secado estimula la descomposición de OC y la liberación de CO<sub>2</sub> por parte de los microbios que habitan en los sedimentos, mientras que los episodios breves de rehumectación pueden desencadenar la respiración microbiana y la removilización de OC y nutrientes, lo que libera más CO<sub>2</sub> (Marce et al., 2019). Por lo tanto, algunas variables que afectan las emisiones de CO<sub>2</sub> de los sedimentos secos incluyen la humedad, la materia orgánica y la temperatura del aire (Keller et al., 2020).

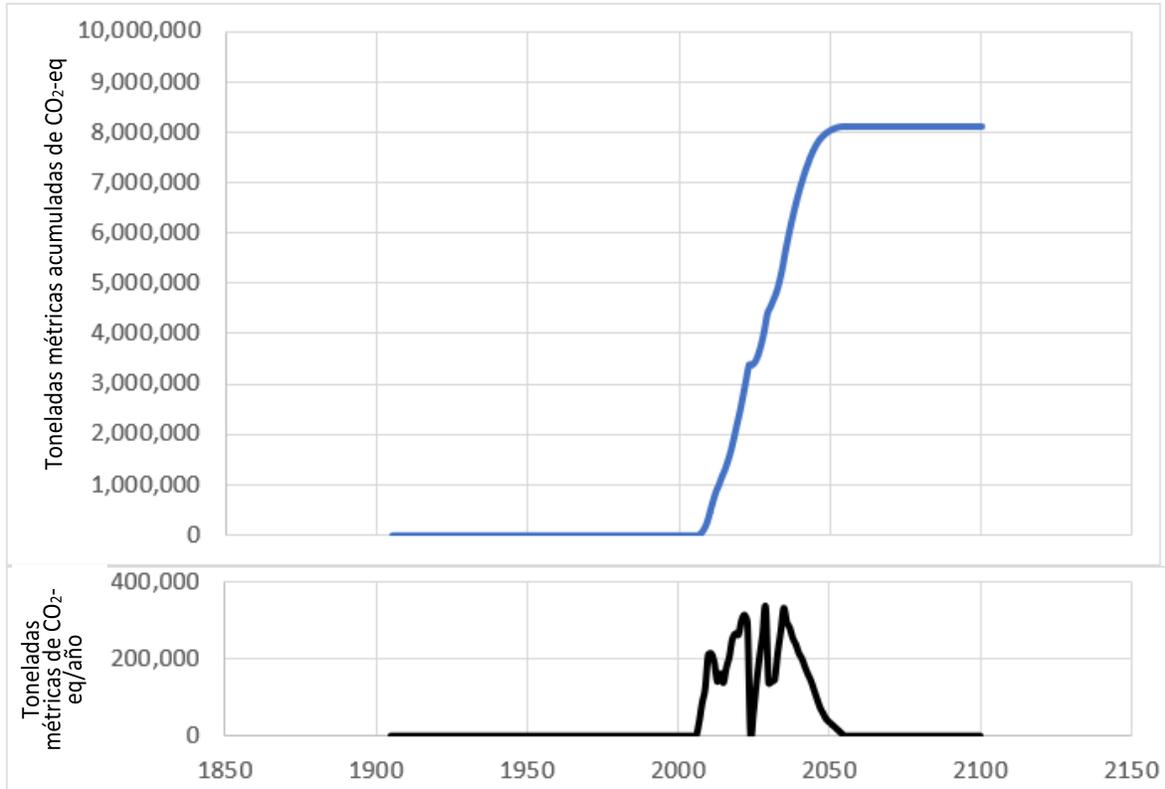
Se puede utilizar una estimación global de 320 mmol C/m<sup>2</sup>/día (mínimo de 216 a máximo de 515 mmol/m<sup>2</sup>/día) para las emisiones de CO<sub>2</sub> de los sedimentos secos de los lagos con un área seca permanente o estacional que supera los 900 m<sup>2</sup> (Marce et al., 2019). Esta estimación se basa en la obtención de muestras de cámara de gas de sedimentos desecados de lagos y embalses en Alemania y España, lo que representa un total de 187,542 km<sup>2</sup> de área seca de manera permanente y estacional. En forma alternativa, Keller et al. (2020) estudian las emisiones de CO<sub>2</sub> de los sedimentos secos de los lagos según la zona climática de Köppen-Geiger: tropical, árida, templada, continental y polar. Salton Sea se encuentra en una zona de clima árido. En función de los 196 ecosistemas de aguas continentales estudiados en Keller et al. (2020), el flujo de CO<sub>2</sub> del sedimento seco en lagos áridos alcanzó un promedio de 623 mmol C/m<sup>2</sup>/día (mínimo de 187 a máximo de 1907 mmol C/m<sup>2</sup>/día). Esto contrasta con la estimación global de 320 mmol C/m<sup>2</sup>/día citada anteriormente.

El lago asociado con el flujo máximo en la zona árida se encuentra a 5 m de altura y experimenta temperaturas medias anuales del aire de 42°C y un contenido de humedad del 37.7%. Como Salton Sea se encuentra a poca altura y experimenta temperaturas máximas del aire en verano que son igualmente altas, podemos usar 1907 mmol C/m<sup>2</sup>/día para el flujo de CO<sub>2</sub> del sedimento seco, pero este valor se ajusta a la baja para permitir que las emisiones de carbono acumulado se produzcan durante un período definido de 5 o 20 años. Al ritmo más alto reportado, toda la acumulación de carbono desde 1905 hasta el presente se emitiría en un solo año. Por lo tanto, este valor se dividió por 5 o 20, para utilizar tasas de emisión que permitirían que el carbono del sedimento se perdiera en la atmósfera durante un período de tiempo razonable y más largo.

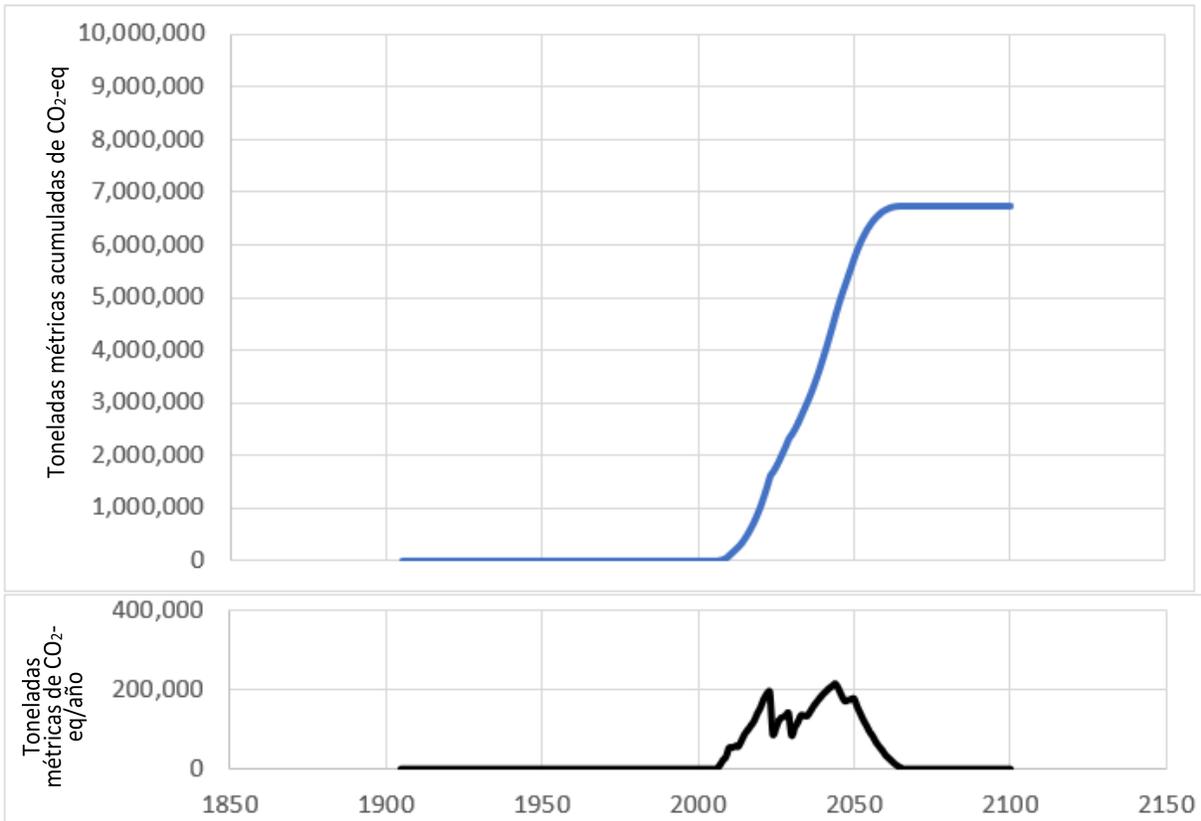
Con base en esta estimación y los cambios en el lago y el área del lecho expuesto como se sugiere en la Figura 2, las emisiones de CO<sub>2</sub> del lecho expuesto que rodea el Mar Salton se pueden estimar a partir de 2006, cuando el área del lecho expuesto era distinta de cero. Área anual efectiva expuesta del lecho del lago-como área expuesta adicional del lecho del lago de cada año y ajustada teniendo en cuenta posibles periodos cortos de rehumectación del sedimento seco-fue calculada y utilizada. El contenido de carbono disponible del área anual efectiva expuesta del lecho del lago se estimó como el carbono acumulado históricamente del enterramiento de carbono calculado en la sección 1.3.1 y se supuso que la oxidación del sedimento expuesto tenía lugar durante un periodo de 5 años o de 20 años. Una vez oxidado el carbono acumulado, el sedimento no contribuirá al flujo de CO<sub>2</sub>. Por lo tanto, si la tasa más alta posible de 1907 mmol

C/m<sup>2</sup>/día, se emitiría la misma cantidad total de carbono, aunque esto ocurriría en un periodo de tiempo mucho más corto (la cantidad acumulada de carbono emitido seguiría siendo la misma)

Las emisiones de CO<sub>2</sub> del lecho del lago expuesto que rodea a Salton Sea, con una suposición de período de oxidación de 5 años y con una suposición de período de oxidación de 20 años, se muestran en la Figura 12 y la Figura 13, respectivamente.



**Figura 12.** Arriba: Toneladas métricas acumuladas estimadas de CO<sub>2</sub>-eq de emisiones de CO<sub>2</sub> de los sedimentos lacustres secos que rodean Salton Sea con una suposición de período de oxidación de 5 años. Abajo: Toneladas métricas estimadas de CO<sub>2</sub>-eq de emisiones de CO<sub>2</sub> de los sedimentos lacustres secos que rodean Salton Sea. Tanto la figura de arriba como la de abajo se calcularon usando una tasa de emisión estimada de 1907 mmol C/m<sup>2</sup>/día (Keller et al., 2020) y en función de las suposiciones del área del lago y los modelos hidrológicos utilizados para respaldar el desarrollo de la Figura 2.



**Figura 13.** Arriba: Toneladas métricas acumuladas estimadas de CO<sub>2</sub>-eq de emisiones de CO<sub>2</sub> de los sedimentos lacustres secos que rodean Salton Sea con una suposición de período de oxidación de 20 años. Abajo: Toneladas métricas estimadas de CO<sub>2</sub>-eq de emisiones de CO<sub>2</sub> de los sedimentos lacustres secos que rodean Salton Sea. Tanto la figura de arriba como la de abajo se calcularon usando una tasa de emisión estimada de 1907 mmol C/m<sup>2</sup>/día (Keller et al., 2020) y en función de las suposiciones del área del lago y los modelos hidrológicos utilizados para respaldar el desarrollo de la Figura 2.

Las estimaciones del flujo de CO<sub>2</sub> para el lecho del lago que se está secando alrededor de Salton Sea se pueden refinar mediante el uso de un modelo basado en un estudio global de los lagos. Un análisis de gases en cámara cerrada de muestras de sedimentos desecados de 196 cuerpos de agua en proceso de secado muestra que las tasas de emisiones de CO<sub>2</sub> de lagos o embalses interiores secos son de alrededor de 207 mmol/m<sup>2</sup>/día con una desviación estándar global de 405 mmol/m<sup>2</sup>/día (Keller et al., 2020). Esto significa que, si bien la mayoría de los sedimentos secos son emisores netos de CO<sub>2</sub>, algunos sedimentos aún pueden ser absorbentes netos de CO<sub>2</sub> de la atmósfera. Se pueden usar mediciones *in situ* de humedad, conductividad y temperatura del aire, elevación local y latitud para refinar la estimación del flujo de CO<sub>2</sub> para Salton Sea utilizando el siguiente modelo lineal de efectos mixtos desarrollado por Keller et al., 2020:

$$F(\text{CO}_2) = -0.22 \times \text{Elevación} + 0.25 \times \text{Latitud} + -0.14 \times \text{Conductividad} + 0.3 \times \text{Temperatura} + 0.4 \times \text{Humedad} + 0.3 \times \text{Materia orgánica} + 0.23 \times (\text{Humedad} : \text{Materia orgánica}) + 0.12 \times (\text{Humedad} : \text{Temperatura}) + 0.04,$$

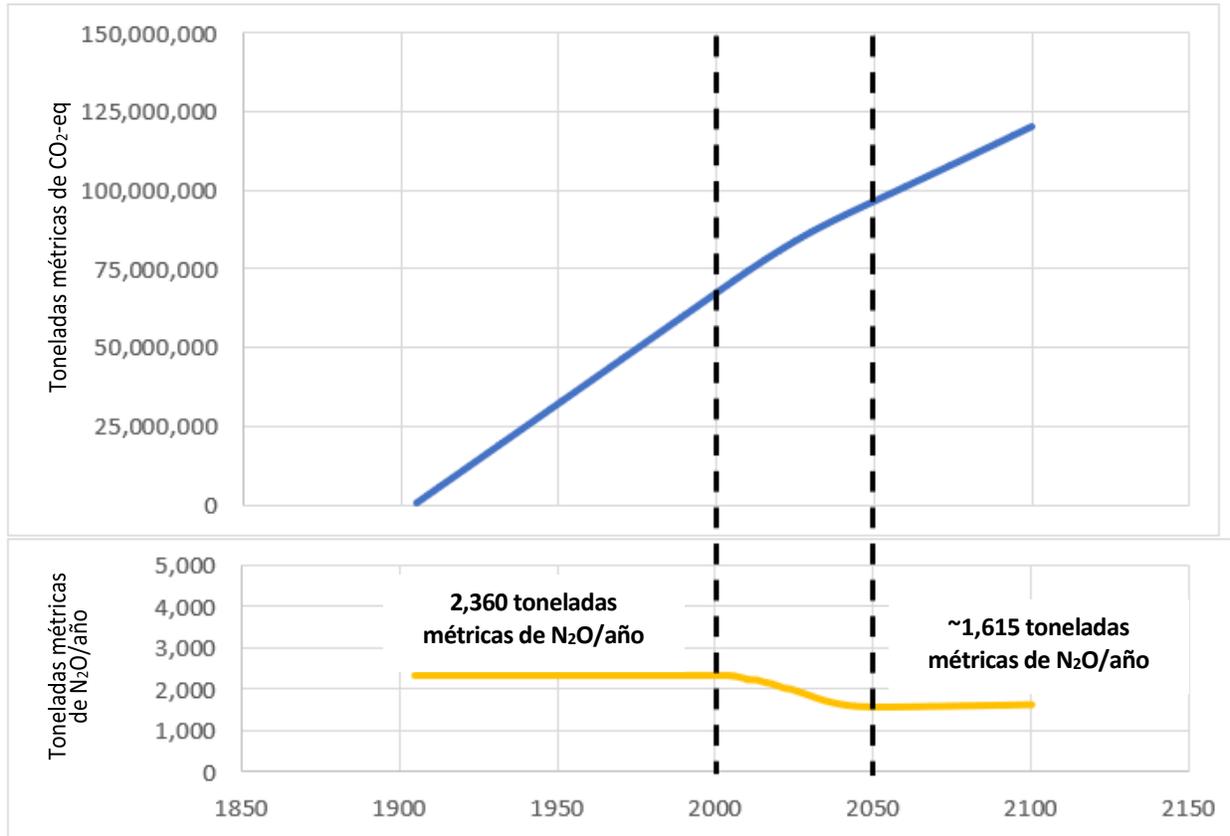
donde las variables son transformadas a log<sub>10</sub> y z.

No se consideran en este análisis las emisiones de CH<sub>4</sub> de sedimentos oxigenados poco profundos debido a la respiración bacteriana metanogénica. Esto se debe a que suponemos que Salton Sea es anóxico debido a su estado eutrófico a hipereutrófico. Sin embargo, algunos hallazgos indican que los sedimentos superficiales son clave para comprender la dinámica y los flujos de CH<sub>4</sub> de los presupuestos de CH<sub>4</sub> de todo el lago (Bastviken et al., 2008). Al mismo tiempo, la productividad de las algas proporciona una fuente de carbono lábil para estimular la emisión de CH<sub>4</sub> en condiciones anóxicas a través de la metanogénesis (Beaulieu et al., 2018). Por lo tanto, una evaluación de dichas emisiones de CH<sub>4</sub> podría afectar aún más el presupuesto futuro de GHG Salton Sea, que se está reduciendo y secando, especialmente porque el CH<sub>4</sub> tiene un mayor potencial de calentamiento global que el CO<sub>2</sub> y porque las tasas de producción de metano aumentan con la temperatura, que a su vez se prevé que aumente debido al cambio climático. Los datos para hacer esta evaluación en la actualidad no están disponibles en el Lago, pero se recomienda un estudio futuro si se desea una estimación de GHG más refinada.

### 1.3.3 Emisiones de Óxido Nitroso

El N<sub>2</sub>O es un producto de la desnitrificación (reducción de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> a N<sub>2</sub>) y un subproducto de la nitrificación (oxidación de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> a NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) (Woszczyk y Schubert, 2021). Por tanto, el flujo de N<sub>2</sub>O se correlaciona con la disponibilidad de oxígeno y nitratos, y con la temperatura de la columna de agua. El flujo de N<sub>2</sub>O de los lagos no está bien estudiado y las estimaciones aquí provienen de un pequeño número de lagos donde se han informado estos valores. Un estudio de lagos en las Montañas Rocosas de Colorado muestra que el flujo de N<sub>2</sub>O de los lagos con alta deposición (es decir, que reciben de 5 a 8 kg de N/ha/año) varió de 0,8 a 6,4 μmol N/ m<sup>2</sup>/hora (0,308 a 2,47 g N<sub>2</sub>O /hora). m<sup>2</sup>/año) (McCrackin y Elser, 2011). Por lo tanto, para un lago eutrófico como el Mar Salton que está influenciado por drenaje agrícola, se puede utilizar el límite superior de 2,47 g N<sub>2</sub>O / m<sup>2</sup>/año. A modo de comparación, en los lagos costeros del sur del Báltico, el flujo de N<sub>2</sub>O se estima en 0,269 g N<sub>2</sub>O / m<sup>2</sup>/año (Woszczyk y Schubert, 2021), cifra inferior al límite inferior citado anteriormente. Los resultados de DelSontro et al. (2018) sugieren que la tasa de flujo de N<sub>2</sub>O está correlacionada positivamente con el tamaño del lago y la concentración de clorofila a; y se puede estimar 0,345 g N<sub>2</sub>O /m<sup>2</sup>/año utilizando la ecuación derivada de DelSontro et al. (2018) basándose en el tamaño actual del Mar Salton e informaron la concentración de clorofila a. Las tasas de emisión de N<sub>2</sub>O para 17 lagos, incluidos 14 lagos salinos en la meseta tibetana (Yan et al., 2018), se estimaron en 0,104 g N<sub>2</sub>O /m<sup>2</sup>/año como promedio en todos los lagos. Como los estudios sobre el flujo de N<sub>2</sub>O en lagos más cálidos son limitados, el límite superior informado de 2,47 g N<sub>2</sub>O / m<sup>2</sup>/año en McCrackin y Elser (2011) se utilizó para el Mar Salton, dado que la temperatura del agua es cálida y una eutrofización sustancial.

La Figura 14 muestra la emisión acumulada y anual de N<sub>2</sub>O de la superficie del lago.



**Figura 6.** Arriba: Toneladas métricas acumuladas estimadas de CO<sub>2</sub>-eq de flujo de N<sub>2</sub>O del área del lago de Salton Sea. Abajo: Toneladas métricas estimadas de flujo de N<sub>2</sub>O por año del área del lago de Salton Sea. Tanto la figura de arriba como la de abajo se calcularon usando una tasa de emisión estimada de 2.47 g N<sub>2</sub>O/m<sup>2</sup>/año (McCrackin y Elser, 2011) y en función de las suposiciones del área del lago y los modelos hidrológicos utilizados para respaldar el desarrollo de la Figura 2.

#### 1.4 Resumen de Valores de Referencia

Las tablas 1 y 2 resumen las fuentes de valores de referencia que se utilizaron para comprender el presupuesto de GHG de Salton Sea.

**Tabla 1.** COLUMNA 1: fuentes de información de referencia que se utilizó para calcular el presupuesto de GHG de Salton Sea; COLUMNAS 2, 3, 4: el proceso de GHG que se puede estimar en función de la información recopilada de la fuente y su contribución (ya sea + o -) al presupuesto de GHG; COLUMNAS 5, 6, 7: tasas estimadas de entrada o salida del sistema basadas en la información recopilada, convertidas a una variedad de unidades para permitir la comparación entre estudios.

		<b>GHG</b>	<b>Proceso</b>	<b>mmol C/m<sup>2</sup>/día</b>	<b>g C/m<sup>2</sup>/año</b>	<b>g CO<sub>2</sub>-eq/m<sup>2</sup>/año</b>
Clow, et al. (2015)	+	Enteramiento de carbón				
				$x 365 \times 12 / 1000$		$x (44 / 12)$
DelSontro, et al. (2019)	-	Emisiones de CH <sub>4</sub>	Eutrofización			
Keller, et al. (2020)	-	Emisiones de CO <sub>2</sub>	Secado			
McDonald, et al. (2013)	-	Emisiones de CO <sub>2</sub>	Flujo de difusión en aguas abiertas			
McCrackin and Elser (2011)	-	Emisiones de N <sub>2</sub> O		mmol N <sub>2</sub> O/m <sup>2</sup> /día	g N <sub>2</sub> O/m <sup>2</sup> /año	
				$x 365 \times 44 / 1000$		$x 298^*$
				<i>*factor de potencial de calentamiento global</i>		

**Tabla 2.** La misma información que en la Tabla 1 pero con los valores de las fuentes convertidos a diferentes unidades y completados en las COLUMNAS 5, 6, 7. NOTA: para las emisiones de CO<sub>2</sub> del flujo de difusión en aguas abiertas, se proporciona un rango de valores sugeridos por McDonald et al., 2013 junto con un valor medio adecuado para California. Esto es para ilustrar la incertidumbre alta en las tasas de emisión asociadas con este proceso.

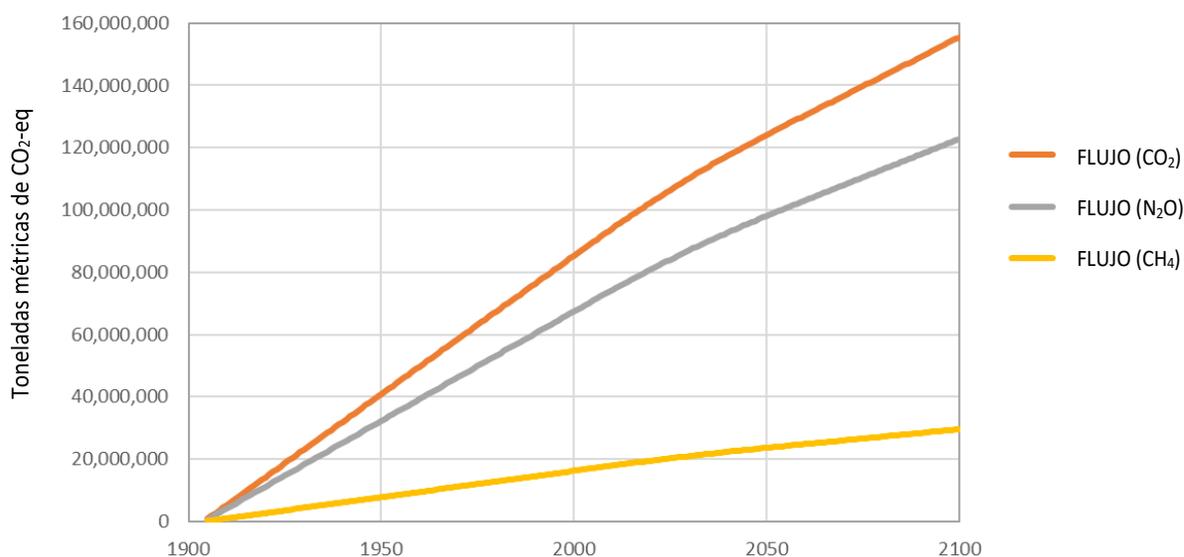
		<b>GHG</b>	<b>Proceso</b>	<b>mmol C/m<sup>2</sup>/día</b>	<b>g C/m<sup>2</sup>/año</b>	<b>g CO<sub>2</sub>-eq/m<sup>2</sup>/año</b>
Clow, et al. (2015)	+	Enteramiento de carbón		16.4	72	<b>264</b>
DelSontro, et al. (2019)	-	Emisiones de CH <sub>4</sub>	Eutrofización	11	48	<b>177</b>
Keller, et al. (2020)	-	Emisiones de CO <sub>2</sub>	Secado	1,907	8,353	<b>30,626</b>
McDonald, et al. (2013)	-	Emisiones de CO <sub>2</sub>	Flujo de difusión en aguas abiertas	58	256	<b>939</b>
McCrackin and Elser (2011)	-	Emisiones de N <sub>2</sub> O		0.15 mmol N <sub>2</sub> O/m <sup>2</sup> /día	2.47 g N <sub>2</sub> O/m <sup>2</sup> /año	<b>2.47 x 298* = 736</b>

*\*factor de potencial de calentamiento*

### 1.5 Presupuesto de GHG de Salton Sea por Año (hasta 2100) y hasta la Fecha (desde 1905)

La representación gráfica de las emisiones acumuladas para el concepto de Fase 1: Plan de 10 años en CO<sub>2</sub>-eq del flujo de CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O y CH<sub>4</sub> en aguas abiertas muestra que el CO<sub>2</sub> y el N<sub>2</sub>O son contribuyentes igualmente importantes para el presupuesto de GHG de Salton Sea (Figura 15).

Las emisiones de GHG de aguas abiertas se calculan a partir de la suma de la superficie húmeda del Lago y los proyectos del Plan de 10 Años. Los cálculos de la superficie mojada incorporan proyectos del Plan Decenal que se ponen en funcionamiento en distintos plazos y reflejan la reducción de la superficie del Mar a lo largo del tiempo, según lo predicho por SSAM (descrito con más detalle en el Apéndice D del LRP).



**Figura 7.** Emisiones acumuladas de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O para el concepto de Fase 1: Plan de 10 Años en unidades de toneladas métricas de CO<sub>2</sub>-eq. Nótese que el CH<sub>4</sub> tiene un potencial de calentamiento global 25 veces mayor que el del CO<sub>2</sub>, y el N<sub>2</sub>O tiene un potencial de calentamiento global 298 veces mayor que el del CO<sub>2</sub> en una escala temporal de 100 años (IPCC, 2013). Para comparar los potenciales de calentamiento global, las unidades del eje y están expresadas en toneladas métricas de CO<sub>2</sub>-eq.

Para obtener una comprensión anual del GHG de Salton Sea para el concepto de Fase 1: Plan de 10 Años, consulte la Tabla 3 para comparar las estimaciones del enterramiento de OC, las emisiones de CO<sub>2</sub> de la oxidación del lecho del lago expuesto, las emisiones de CH<sub>4</sub> y el flujo de difusión de CO<sub>2</sub> y N<sub>2</sub>O de la superficie mojada. Para obtener estimaciones acumulativas desde la formación de Salton Sea desde 1905, consulte la Tabla 4.

**Tabla 3.** Para el concepto de Fase 1: Plan de 10 Años, estimaciones anuales del enterramiento de OC, emisiones de CO<sub>2</sub> de la oxidación del lecho del lago expuesto, emisiones de CH<sub>4</sub> y flujo de difusión de CO<sub>2</sub> y N<sub>2</sub>O de la superficie del agua del lago en 2000, 2018, 2020, 2028, 2030, 2050 y 2100. Los años 2018 y 2028 son las fechas de inicio y finalización del Plan Decenal. Las unidades están expresadas en toneladas métricas de CO<sub>2</sub>-eq por año, a menos que se indique lo contrario.

AÑO	Enterramiento de carbono	Secado del lecho del lago expuesto		Eutrofización (difusión + ebullición)	Flujo de difusión de la superficie del agua del lago	
		CO <sub>2</sub> (suponiendo una oxidación de 5 años)	CO <sub>2</sub> (suponiendo una oxidación de 20 años)	CH <sub>4</sub> (suponiendo que no haya cambios en <i>Chl a</i> o TP)	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub> O *toneladas métricas de N <sub>2</sub> O por año
<b>Toneladas métricas de CO<sub>2</sub>-eq por año</b>						
2000	0.25 M	0	0	0.17 M	0.89 M	0.70 M 2,360*
2018	0.23 M	0.22 M	0.10 M	0.16 M	0.82 M	0.65 M 2,170*
2020	0.23 M	0.27 M	0.14 M	0.15 M	0.80 M	0.63 M 2,120*
2028	0.22 M	0.01 M	0.14 M	0.15 M	0.78 M	0.62 M 2,070*
2030	0.21 M	0.19 M	0.15 M	0.14 M	0.75 M	0.59 M 2,000*
2050	0.18 M	0	0.17 M	0.12 M	0.65 M	0.51 M 1,730*
2100	0.19 M	0	0	0.13 M	0.68 M	0.54 M 1,800*

**Tabla 4.** Para el concepto de Fase 1: Plan de 10 Años, estimaciones acumuladas del enterramiento de OC, emisiones de CO<sub>2</sub> de la oxidación del lecho del lago expuesto, emisiones de CH<sub>4</sub> y flujo de difusión de CO<sub>2</sub> y N<sub>2</sub>O de la superficie del agua del lago para 2000, 2010, 2020, 2030, 2050 y 2100. Las unidades están expresadas en toneladas métricas de CO<sub>2</sub>-eq hasta la fecha (es decir, desde 1905).

AÑO	Enterramiento de carbono	Secado		Eutrofización (difusión + ebullición)	Flujo de difusión de la superficie del agua del lago	
		CO <sub>2</sub> (suponiendo una oxidación de 5 años)	CO <sub>2</sub> (suponiendo una oxidación de 20 años)	CH <sub>4</sub> (suponiendo que no haya cambios en <i>Chl a</i> o TP)	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub> O
<b>Toneladas métricas de CO<sub>2</sub>-eq hasta la fecha (desde 1905)</b>						
2000	24.2 M	0	0	16.2 M	85.3 M	67.4 M
2010	26.7 M	0.29 M	0.073 M	17.9 M	94.1 M	74.4 M
2020	29.0 M	2.2 M	0.89 M	19.5 M	102 M	80.9 M
2030	31.2 M	4.0 M	2.5 M	21.0 M	110 M	87.0 M
2050	35.0 M	7.9 M	6.6 M	23.5 M	124 M	97.7 M
2100	44.5 M	7.9 M	7.3 M	29.9 M	157 M	124 M

## 1.6 Conclusión

En función de las suposiciones realizadas y las referencias consultadas en las Secciones 3 y 4, podemos estimar que para el año 2000, Salton Sea secuestró 24.2 M de toneladas métricas de CO<sub>2</sub>-eq de carbono, mientras emitía 85.3 M de toneladas métricas como CO<sub>2</sub>, 16.2 M de toneladas métricas como CH<sub>4</sub>, y 67.4 M de toneladas métricas adicionales de CO<sub>2</sub>-eq de N<sub>2</sub>O del flujo de aguas abiertas. Como se señaló en la Introducción, estas estimaciones se basan en niveles de calidad del agua y área del lago de ~2000, porque no se dispone de datos de las primeras décadas del siglo XX. Estos valores pueden considerarse conservadores desde el punto de vista del impacto de los GEI, ya que normalmente se utilizaron estimaciones de flujos más altas de la literatura para desarrollar las emisiones totales de GEI para el Mar Salton.

Los cálculos en este Apéndice indican que el Mar Salton puede haber aumentado el potencial de calentamiento global de la atmósfera, cuando se mide en términos de CO<sub>2</sub>-eq. Esto es consistente con los hallazgos globales, ya que se estima que el 90% de los ecosistemas acuáticos estudiados emiten CO<sub>2</sub> a la atmósfera, lo que demuestra que los lagos, incluidos los lagos salinos, son importantes emisores de CO<sub>2</sub> a nivel global y regional (Kling et al., 1992; Cole et al., 1994). ; Cole et al., 2007; Duarte et al., 2008). Los lagos más cálidos también emiten más CO<sub>2</sub> que los lagos más fríos comparables (Kosten et al., 2010).

Además, las emisiones de CH<sub>4</sub> estimadas de Salton Sea se amplifican debido a la eutrofización. El metano es un producto importante del metabolismo del carbono en los lagos (Bastviken et al., 2008). Los estudios muestran que las emisiones de CH<sub>4</sub> de los lagos representan del 6 al 16% de las emisiones no antropogénicas globales y que los embalses representan el 18% de las emisiones

antropogénicas globales (Bastviken et al., 2004; St. Louis et al., 2000). Actualmente, las emisiones de GHG de los lagos equivalen a ~20% de las emisiones mundiales de combustibles fósiles, e incluso niveles moderados de mayor eutrofización podrían aumentar el efecto atmosférico de los GHG emitidos por los lagos (medidos como CO<sub>2</sub>-eq) en un 5, 26 o 42% en base a aumentos en la concentración de clorofila *a* en 1, 5 o 10 µg/L (DeSontro et al., 2019). Debido a la magnitud de tales cambios, una estimación refinada de las emisiones de CH<sub>4</sub> hasta la fecha y en el futuro se beneficiaría de las observaciones de mayor resolución de la concentración de clorofila *a* en Salton Sea.

Estimamos que para 2020, se habían emitido entre 0.89 y 2.2 M de toneladas métricas de CO<sub>2</sub>-eq de CO<sub>2</sub> adicionales luego de la oxidación lenta de un área cada vez mayor del lecho del lago expuesta, según el plazo de oxidación (es decir, un plazo de proceso de 20 a 5 años). De 2050 a 2100 para el concepto de Fase 1: Plan de 10 Años, suponiendo que el lago Salton Sea y las áreas expuestas del lecho del lago se estabilicen, las tasas de enterramiento de carbono se estabilizarán en 0.19 M de toneladas métricas de CO<sub>2</sub>-eq/año, mientras que las emisiones de N<sub>2</sub>O y CO<sub>2</sub> serán de al menos 0.54 y 0.68 M de toneladas métricas de CO<sub>2</sub>-eq/año, respectivamente. Las emisiones de CH<sub>4</sub> del lago son menos significativas que las emisiones de N<sub>2</sub>O y CO<sub>2</sub>, pero equivaldrían al menos a 0.13 M de toneladas métricas de CO<sub>2</sub>-eq/año.

Por lo tanto, las emisiones totales de la superficie del lago serían de al menos 1.29 M de toneladas métricas de CO<sub>2</sub>-eq/año para 2050, momento en el cual la oxidación de los sedimentos expuestos habría contribuido entre 6.6 y 7.9 M de toneladas métricas adicionales de CO<sub>2</sub>-eq de CO<sub>2</sub>.

Si bien los flujos de GEI anteriores son todas estimaciones, en un nivel alto se pueden comparar con las cargas anuales de carbono basadas en concentraciones y flujos de entrada medidos (0,087 millones de toneladas por año de C orgánico e inorgánico, o 0,31 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>-eq por año). Suponiendo niveles aproximadamente iguales de afluencias al Mar durante su reciente período de existencia (~120 años), las emisiones totales exceden las afluencias pero son del mismo orden de magnitud (ver Tabla 3). El exceso de emisiones puede explicarse por la producción de carbono en el mar y el papel de otros GEI (N<sub>2</sub>O y CH<sub>4</sub>) que tienen un potencial de calentamiento global mucho mayor en el cálculo de CO<sub>2</sub>-eq.

## 1.7 Referencias

- Anderson, N. J., Bennion, H., Lotter, A. F. Lake eutrophication and its implications for organic carbon sequestration in Europe. *Global Change Biol.* **2014**, 20(9), 2741-2751. DOI: 10.1111/gcb.12584
- Anderson, N. J., Dietz, R. D., Engstrom, D. R. Land-use change, not climate, controls organic carbon burial in lakes. *Proc. R. Soc. London, B* **2013**, 280 (1769). DOI: 10.1098/rspb.2013.1278
- Bastviken, D., Cole, J. J., Pace, M. L., Van de Bogert, M. C. Fates of methane from different lake habitats: connecting whole-lake budgets and CH<sub>4</sub> emissions. *J. Geophys. Res.*, **2008**, 113. DOI: 10.1029/2007JG000608
- Beaulieu, J. J., Balz, D. A., Birchfield, M. K., Harrison, J. A., Nietch, C. T., Platz, M. C., Squier, W. C., Waldo, S., Walker, J. T., White, K. M., Young, J. L. Effects of an experimental water-level drawdown on methane emissions from a eutrophic reservoir. *Ecosystems*, **2018**, 21, 657-674. DOI: 10.1007/s10021-017-0176-2
- Beaulieu, J. J., DelSontro, T., Downing, J. A. Eutrophication will increase methane emissions from lakes and impoundments during the 21<sup>st</sup> Century. *Nature*, **2019**, 10, 1375, DOI: 10.1038/s41467-019-09100-5
- Bureau of Reclamation (Reclamation). 2019. Restoration of the Salton Sea: Summary Report. *Reclamation: Managing Water in the West*. U.S. Department of the Interior Bureau of Reclamation Lower Colorado Region. <https://www.usbr.gov/lc/region/programs/salttonsea.html>
- Clow, D. W., Stackpoole, S. M., Verdin, K. L., Butman, D. E., Zhu, Z., Krabbenhoft, D. P., Striegl, R. G. Organic carbon burial in lakes and reservoirs of the conterminous United States. *Environ. Sci. Technol.* **2015**, 49, 7614-7622. DOI: 10.1021/acs.est.5b00373
- Cole, J. J., Caraco, N. F., Kling, G. W., Kratz T. K. Carbon dioxide supersaturation in the surface waters of lakes. *Science*, **1994**, 265(5178): 1568-1570.
- Cole, J. J., Prairie, Y. T., Caraco, N. F., McDowell, W. H., Tranvik, L. J., Striegl, R. G., Duarte, C. M., Kortelainen, P., Downing, J. A., Plumbing the global carbon cycle: Integrating inland waters into the terrestrial carbon budget. *Ecosystems*, **2007**, 10(1): 171-184.
- DelSontro, T., Beaulieu, J. J., Downing, J. A. Greenhouse gas emissions from lakes and impoundments: upscaling in the face of global change. *Limnol. Oceanogr. Lett.* **2018**, 3, 64-75.
- Downing, J. A., Cole, J. J., Middleburg, J. J., Striegl, R. G., Duarte, C. M., Kortelainen, P., Prairie, Y. T., Laube, K. A. Sediment organic carbon burial in agriculturally eutrophic impoundments over the last century. *Global Biogeochem. Cycles*, **2008**, 22. DOI: 10.1029/2006GB002854
- Duarte, C. M., Prairie, Y. T., Montes, C., Cole, J. J., Striegl, R., Melack, J., Downing, J. A. CO<sub>2</sub> emissions from saline lakes: a global estimate of a surprisingly large flux. *J. Geophys. Res.*, **2008**, 113. DOI: 10.1029/2007JG000637
- Fromin, N., Pinay, G., Montuelle, B., Landais, D., Ourcival, J. M., Joffre, R., Lensi, R. Impact of seasonal sediment desiccation and rewetting on microbial processes involved in greenhouse gas emissions. *Ecohydrology*, **2010**, 3(3), 339-348. DOI: 10.1002/eco.115
- Gao, Jerry & Deo, Akshata y Chiao, Sen. (2021). Soil Evaluation Research for Salton Sea-A Survey of Available Salton Sea Soil and Sediment Evaluation Research Literature. 447-458.

- IPCC. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (eds Stocker, T. F. et al.) (Cambridge University Press, New York, NY, EE. UU, **2013**).
- Keller, P. S., Catalan, N., von Schiller, D., Grossart, H.-P., Koschorreck, M., Obrador, B., et al. Global CO<sub>2</sub> emissions from dry inland waters share common drivers across ecosystems. *Nature*, **2020**, *11*, 2126. DOI: 10.1038/s41467-020-15929-y
- Kling, G. W., Kipphut, G. W., Miller, M. C. The flux of CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> from lakes and rivers in arctic Alaska. *Hydrobiologia*, **1992**, *46*(5): 1054-1064.
- Kosten, S., Roland, F., Da Motta Marques, D. M. L., Van Nes, E. H., Mazzeo, N., Sternberg, L., Scheffer, S. M., Cole, J. J. Climate-dependent CO<sub>2</sub> emissions from lakes. *Global Biogeochem. Cycles*, **2010**, *24*(2). DOI:10.1029/2009/GB003618
- Marce, R., Obrador, B., Gomez-Gener, L., Catalan, N., Koschorreck, M., Arce, M. I., Singer, G., von Schiller, D. Emissions from dry inland waters are a blind spot in the global carbon cycle. *Earth Sci. Rev.*, **2019**, *188*, 240-248. DOI: 10.1016/j.earscirev.2018.11.012
- McCrackin, M. L., Elser, J. J. Greenhouse gas dynamics in lakes receiving atmospheric nitrogen deposition. *Global Biogeochem. Cycles*, **2011**, *25*(4), DOI: 10.1029/2010B003897
- McDonald, C. P., Stets, E. G., Striegl, R. G., Butman, D. Inorganic carbon loading as a primary driver of dissolved carbon dioxide concentrations in the lakes and reservoirs of the contiguous United States. *Global Biogeochem. Cycles*, **2013**, *27*(2), 285-295. DOI: 10.1002/gbc.20032
- Mendonça, R., Müller, R. A., Clow, D., Verpoorter, C., Raymond, P., Tranvik, L. J., Sobek, S. Organic carbon burial in global lakes and reservoirs. *Nature Communications*, **2017**, *8*(1). DOI: 10.1038/s41467-017-01789-6
- Morales-Williams, A. M., Wanamaker Jr., A. D., Williams, C. J., Downing, J. A. Eutrophication drives extreme seasonal CO<sub>2</sub> flux in lake ecosystems. *Ecosystems*, **2021**, *24*, 434-450. DOI: 10.1007/s10021-020-00527-2
- Raymond, P. A., Hartmann, J., Lauerwald, R., Sobek, S., McDonald, C., Hoover, M., Butman, D., Striegl, R., Mayorga, E., Humborg, C., Kortelainen, P., Durr, H., Meybeck, M., Ciais, P., Guth, P. Global carbon dioxide emissions from inland waters. *Nature*, **2013**, *503*, 355-359. DOI: 10.1038/nature12760
- Robertson, D. M., Schladow, S. G. Response in the water quality of the Salton Sea, California, to changes in phosphorus loading: an empirical modeling approach. *USGS Hydrobiologia*, **2008**. DOI: 10.1007/s10750-008-9321-4
- Imperial Irrigation District **2022**. <https://www.iid.com/water/salton-sea#:~:text=As%20a%20terminal%20waterbody%2C%20the%20Salton%20Sea%20has,salinity%20concentrations%20are%20significantly%20higher%20than%20ocean%20water>.
- University of California Agriculture and Natural Resources **2022**. Salton Sea and Salinity. [https://ceimperial.ucanr.edu/Custom\\_Program275/Salton\\_Sea\\_and\\_Salinity/?sharing=yes#:~:text=Colorado%20River%20water%20salinity%20is%20about%20650-700%20mg%2FL,is%20approximately%20four%20million%20tons%20of%20salts%20annually](https://ceimperial.ucanr.edu/Custom_Program275/Salton_Sea_and_Salinity/?sharing=yes#:~:text=Colorado%20River%20water%20salinity%20is%20about%20650-700%20mg%2FL,is%20approximately%20four%20million%20tons%20of%20salts%20annually).
- Setmire, J., Schroeder, R., Densmore, J. *U.S. Fish and Wildlife Service*. **1993**. <https://pubs.usgs.gov/wri/1993/4014/report.pdf>

- Setmire, J., Robertson, D., Amrhein, C., Elder, J., Schroeder, R., Schladow, G., McKellar, H., Gersberg, R. Eutrophic Conditions at the Salton Sea. *U.S. Bureau of Reclamation*. **2000**.  
[https://www.usbr.gov/lc/region/saltnsea/pdf\\_files/scidocs/eutrofin.pdf](https://www.usbr.gov/lc/region/saltnsea/pdf_files/scidocs/eutrofin.pdf)
- Tetra Tech, Salton Sea Funding and Feasibility Action Plan, Benchmark 2: Review and Update Existing Condition Data. May, **2016**.
- Tiffany, M. A., González, M. R., Swan, B. K., Reifel, K. M., Watts, J. M., Hurlbert, S. H. Phytoplankton dynamics in the Salton Sea, California, 1997-1999. *Lake and Reservoir Management*, **2007**, 23(5), 582–605. DOI: 10.1080/07438140709354039
- Travnik, L. J. Lakes and reservoirs as regulators of carbon cycling and climate. *Limnol. Oceanogr.* **2009**, 54, 2298-2314. DOI: 10.1046/j.1365-2486.2003.00619.x
- von Wachenfeldt, E., Sobek, S., Bastviken, D., Travnik, L. J. Linking allochthonous dissolved organic matter and boreal lake sediment carbon sequestration: the role of light-mediated flocculation. *Limnol. Oceanogr.* **2008**, 53, 2416-2426.
- Weyhenmeyer, G. A., Kosten, S., Wallin, M. B., Tranvik, L. J., Jeppesen, E., Roland, F. Significant fraction of CO<sub>2</sub> emissions from boreal lakes derived from hydrologic inorganic carbon inputs. *Nature Geoscience*, **2015**, 8(12), 933–936. DOI: 10.1038/ngeo2582
- Woszczyk, M., Schubert, C. J. Greenhouse gas emissions from Baltic coastal lakes. *Sci. of the Total Environ.*, **2021**, 755. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.143500
- Yan, F., Sillanpää, M., Kang, S., Aho, K. S., Qu, B., Wei, D., Li, X., Li, C., Raymond, P. A. Lakes on the Tibetan Plateau as Conduits of Greenhouse Gases to the Atmosphere. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, **2018**, 123(7), 2091–2103. DOI: 10.1029/2017JG004379

©2024



# PROGRAMA DE GESTIÓN DE SALTON SEA



CALIFORNIA  
NATURAL  
RESOURCES  
AGENCY

