



FACULTAD DE
GOBIERNO
UNIVERSIDAD DE CHILE

CENTRO DE ANÁLISIS
DE POLÍTICAS
PÚBLICAS

Insumo para una nueva política pública medio ambiental

Revisión y análisis de límites
planetarios aplicados a escala
nacional

GIMA·OT·CC·
Medio ambiente
Ordenamiento territorial
Cambio climático



Insumo para una nueva política pública medio ambiental

Revisión y análisis de límites
planetarios aplicados a escala
nacional

Por Gustavo Orrego Méndez,
Secretario ejecutivo del Centro de Análisis de Políticas Públicas
Coordinador del grupo de investigación en Medio Ambiente,
Ordenamiento Territorial y Cambio Climático (MA-OT-CC).



1. Antecedentes

Actualmente, el planeta se encuentra inmerso en una triple crisis planetaria que se define por la interconexión de tres problemas medioambientales: cambio climático, contaminación y pérdida de la biodiversidad (Naciones Unidas, 2023). Cada uno de estos problemas posee sus propias causas y consecuencias, demandando soluciones y acciones proactivas, multiescalares e interdisciplinarias.

“En lo que respecta a Chile, el cambio climático se considera como la principal macropresión.

Específicamente, a Chile se le considera como un país altamente vulnerable al cambio climático, con previsiones que indican una serie de impactos medioambientales sustantivos.”

En lo que respecta a Chile, el cambio climático se considera como la principal macropresión. Específicamente, a Chile se le considera como un país altamente vulnerable al cambio climático, con previsiones que indican una serie de impactos medioambientales sustantivos (Orrego *et al.*, 2023). Estos incluyen la reducción de las precipitaciones líquidas y sólidas, disminución de los caudales y aumento de la demanda evaporativa, sequías recurrentes y prolongadas, caudales máximos sin precedentes, incendios forestales más intensos y frecuentes, retroceso de glaciares y reducción de la cobertura de nieve estacional, por nombrar algunos de ellos. Situación que se amplifica con la acidificación de los océanos y cambios en los patrones de especies terrestres y marinas.

En el ámbito de la contaminación, el país se encuentra especialmente afectado por la contaminación atmosférica. Por ejemplo, al año 2021 todas las estaciones de monitoreo de MP₁₀ del país presentaron concentraciones que superaban las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud (OMS) (Orrego *et al.*, 2023).

Respecto a la pérdida de la biodiversidad, en Chile la situación tampoco es favorable, puesto que, de un total de 125 pisos de vegetación, 19 se encuentran amenazados (clasificados como En Peligro Crítico, En Peligro o Vulnerables), los que equivalen al 15,2% del total de los ecosistemas nacionales (Jaksic y Mella-Flores, 2023).

En este desfavorable y complejo escenario, se genera la necesidad de considerar el enfoque de “límites planetarios” (LP), los que hacen referencia a un conjunto de umbrales biofísicos, que no deben ser sobrepasados, ya que si se traspasan se producirán procesos no lineales de consecuencias potencialmente catastróficas (Terradas, 2009). Entre los LP, se encuentran (Rockström *et al.*, 2009): **1) Contaminación atmosférica; 2) Uso de agua dulce; 3)**

Pérdida de biodiversidad; **4)** Cambios en el uso del suelo; **5)** Agotamiento del Ozono Estratosférico; **6)** Cambio Climático, **7)** Ciclo del Nitrógeno y Fósforo; **8)** Contaminación química y; **9)** Acidificación de los océanos.

El análisis de los LP ha adquirido una creciente relevancia, puesto que pueden funcionar como un punto de referencia para el desarrollo sustentable, así como para la proposición e implementación de una estructura de gobernanza y de políticas públicas encaminadas hacia la sustentabilidad ambiental (Marquet *et al.*, 2022).

Por tanto, el propósito del presente documento es realizar una revisión y análisis de los límites planetarios aplicados a nivel nacional, del cual se desprenda un conjunto de propuestas de políticas públicas que sirvan de guía para que el país avance hacia un nuevo modelo de desarrollo con una alta sustentabilidad ambiental.

2. Límites planetarios aplicados a escala nacional

En el estudio titulado “Las tres brechas del desarrollo sostenible y el cierre de la brecha ambiental en Chile” se seleccionaron ocho de los nueve límites planetarios propuestos por Rockström *et al.* (2009) para aplicarlos a nivel nacional. Además, se añadió un nuevo límite relacionado con las pesquerías, dada su importancia en términos económicos y productivos. Para ello, los autores propusieron variables operacionales y valores específicos que no debieran ser superados en el país.

Para la proposición de los desafíos y propuestas de políticas públicas en el marco del presente Informe, en esta sección se realizará una breve revisión y análisis de los límites ambientales nacionales propuestos por Marquet *et al.* (2022) que tienen una relación directa con los contenidos tratados y priorizados en el presente Informe. Entre los límites analizados y priorizados se encuentran los siguientes: **1)** Contaminación atmosférica; **2)** Uso de agua dulce; **3)** Pérdida de biodiversidad; **4)** Cambios en el uso del suelo; **5)** Pesquerías; **6)** Agotamiento del Ozono Estratosférico; **7)** Cambio Climático, **8)** Ciclo del Nitrógeno y Fósforo, y **9)** Contaminación química.

a. Límite nacional de “Contaminación atmosférica”

Marquet *et al.* (2022) propone a la “Concentración media diaria de $MP_{2,5}$ ” como variable operacional para el límite nacional de “Contaminación atmosférica”. Específicamente, los autores establecieron un límite inferior nacional de $25 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$, basado en la antigua recomendación de la Organización Mundial de la Salud (OMS) que establece que las personas no deberían exponerse a concentraciones medias diarias superiores a esta cantidad. Además,

establecieron un límite superior diario de 50 ug/Nm^3 , basado en la norma diaria vigente de $\text{MP}_{2,5}$.

Los resultados del estudio mostraron que en Chile el límite superior se encuentra transgredido en un 61% de las estaciones de monitoreo de calidad del aire, mientras que el límite inferior se transgrede en un 87% de ellas.

A modo de discusión, es relevante señalar que en el análisis de la situación nacional del capítulo de "Aire" del Informe País Estado del Medio Ambiente (2023), se consideró una directriz más estricta (15 ug/m^3) que la utilizada por Marquet *et al.* (2022). Esto, atendiendo a la publicación de las nuevas directrices mundiales de la calidad del aire por parte de la OMS.

Además, en el documento del Centro de Análisis de Políticas Públicas (2023) se consideraron datos publicados por el Ministerio del Medio Ambiente hasta diciembre del año 2021, a diferencia del estudio de Marquet *et al.* (2022) que analiza la transgresión del límite sobre contaminación atmosférica hasta el año 2019, lo que implica que los resultados de dicho estudio pueden considerarse como una actualización y complementación de lo planteado por los autores.

"Los resultados del estudio mostraron que en Chile el límite superior se encuentra transgredido en un 61% de las estaciones de monitoreo de calidad del aire, mientras que el límite inferior se transgrede en un 87% de ellas."

En el año 2021, el 64,91% de las estaciones de monitoreo de calidad del aire sobrepasan los 50 ug/m^3 definidos en la norma diaria nacional de $\text{MP}_{2,5}$ y el 87,72% de ellas supera una concentración media diaria de 25 ug/m^3 , lo que implica una superación del límite superior e inferior sobre contaminación atmosférica propuesto por Marquet *et al.* (2022) y un aumento en el porcentaje de las estaciones que transgreden el límite nacional superior respecto al año 2019.

Con respecto a este límite, constituye un desafío futuro la incorporación en investigaciones futuras de los costos y beneficios asociados a planes implementados o propuestos en el ámbito nacional en esta temática.

Por último, es importante destacar que al establecer un límite nacional para la "Contaminación atmosférica", es necesario considerar los múltiples contaminantes que afectan la calidad del aire. Por esta razón, se destaca el análisis del CAPP que incluyó los niveles de $\text{MP}_{2,5}$, MP_{10} , NO_2 , SO_2 y CO_2 , a diferencia del estudio de Marquet *et al.* (2022) que solo consideró $\text{MP}_{2,5}$. Esto plantea como un desafío futuro que nuevas investigaciones, que analicen la transgresión del límite nacional de contaminación atmosférica, aborden el conjunto de componentes que afectan la calidad del aire a nivel nacional y regional.

b. Límite nacional de “Uso de agua dulce”

En cuanto al límite nacional de “uso de agua dulce”, los autores definieron la cuenca hidrográfica como la escala de aplicación, ya que consideran que esta es la unidad natural apropiada para evaluar la relación entre la disponibilidad y la demanda de agua dulce.

Las variables operativas utilizadas por Marquet *et al.* (2022) son la disponibilidad natural de agua renovable (aquella asociada a la transformación de precipitación o nieve en escorrentía) y el uso de agua que implica la extracción desde una fuente natural, como un río, lago o acuífero. Cabe destacar que no se incluyó en el análisis la disponibilidad de los volúmenes de agua almacenados en acuíferos ni la demanda de los usos de agua no consuntivos.

Siguiendo los criterios propuestos por Rockstrom *et al.* (2009) para una escala planetaria y los de Fang *et al.* (2015) para una escala nacional, los autores establecieron que el límite de uso de agua dulce es del 40% de la disponibilidad de recursos hídricos en un año.

Los resultados obtenidos revelaron que en la macrozona norte de Chile, el límite de uso de agua dulce está siendo transgredido en el 66,7% de las cuencas hidrográficas. Esta transgresión se atribuye a la escasa disponibilidad del recurso hídrico en dicha macrozona.

“En la macrozona norte de Chile, el límite de uso de agua dulce está siendo transgredido en el 66,7% de las cuencas hidrográficas.”

En el caso de la macrozona centro-norte, el límite es transgredido por el 20% de las cuencas hidrográficas. Por su parte, en la macrozona centro, el límite es superado por el 25% de las cuencas hidrográficas. En estas macrozonas, la superación del límite se debe a la elevada demanda de agua por parte de la población y las actividades productivas.

En contraste, las macrozonas centro-sur, sur y austral tienen una demanda de agua inferior al 40% de la escorrentía, lo que significa que en estas macrozonas no se ha superado el límite. La no superación del límite en estos casos se debe a la gran cantidad de agua disponible en comparación con las cuencas hidrográficas de otras macrozonas.

A modo de discusión, se recomienda que futuras investigaciones que aborden el límite de uso de agua dulce integren los impactos esperados del cambio climático, como la reducción de las precipitaciones, el aumento de la temperatura, el aumento de la isoterma 0 y las sequías recurrentes. De lo contrario, podría haber una sobreestimación de los valores obtenidos. Para

ello, se sugiere tener en cuenta los resultados de la "Actualización del Balance Hídrico Nacional" realizada por la Universidad de Chile y la Pontificia Universidad Católica de Chile en 2017, que integra el cambio climático y pronostica una disminución de las precipitaciones en la zona centro-sur de entre un 15% o menos (dependiendo del modelo climático), así como un aumento de las precipitaciones en el norte del país, principalmente en el Altiplano, que tenderían a aumentar cerca de un 8%.

Finalmente, se destaca que el análisis del límite sobre el uso del agua dulce por parte de Marquet et al. (2022) pone en evidencia, la disponibilidad desigual del agua en las diferentes macrozonas del país, y por otro, una excesiva demanda de agua que supera la disponibilidad en el caso de las macrozonas norte, centro-norte y centro, lo que en consecuencia, releva la necesidad de adoptar criterios que permitan efectuar una gestión integrada de los recursos hídricos en Chile, como podrían ser: 1) modificación de la institucionalidad y el marco jurídico; 2) integración de la ciudadanía en la administración y toma de decisiones vinculada al uso del agua; 3) ampliar la información sobre los recursos hídricos del país; y 4) realizar una planificación hídrica a escala de cuenca hidrográfica (Fuster et al., 2009).

c. Límite nacional de "Pérdida de Biodiversidad"

El estudio de Marquet et al. (2022) evaluó a nivel nacional el límite de "Pérdida de Biodiversidad" propuesto por Rockström et al. (2009). Para evaluar este límite, los autores definieron tres variables operativas: 1) tasa de extinción; 2) estado de conservación de los ecosistemas; y 3) relación entre el número de especies exóticas y el área del país.

"El límite (Pérdida de Biodiversidad) ha sido transgredido en un rango de entre un 272% y un 1927%."

En el caso de la variable operativa "tasa de extinción", se estableció un límite nacional de menos de 10 especies por millón de especies por año (E/MEA). Para la variable "estado de conservación de los ecosistemas", se definió como límite que ningún ecosistema dentro del país y sus regiones esté en peligro o en peligro crítico. En cuanto a la tercera variable, el valor del límite se estableció como menos de 29,47 especies exóticas o 0,28 especies exóticas corregidas por el número de especies nativas.

A partir de un análisis detallado, los autores encontraron que el riesgo de extinción varía entre 37,2 y 202,7 especies, lo que implica que el límite ha sido transgredido en un rango de entre un 272% y un 1927%.

Para verificar si existe una transgresión del límite de estado de conservación de los ecosistemas, se consideraron los análisis de Pliscoff (2015), quien identificó ocho ecosistemas en Peligro Crítico y seis en Peligro en Chile, lo que suma un

total de 14. Además, el análisis de Alaniz *et al.* (2016) identificó tres ecosistemas en Peligro y tres en categoría de Peligro Crítico. Por lo tanto, se concluyó que este límite variaría entre 6 y 14, dependiendo del estudio, lo que representaría una transgresión de entre un 600% a un 1400% a nivel porcentual.

En cuanto al límite nacional de relación entre el número de especies exóticas y el área del país, se obtuvo que en Chile hay un total de 127 especies invasoras, lo que implica una transgresión del 263,1%, mientras que al normalizar la relación por el número de especies nativas se obtiene que en Chile hay 1,9 especies exóticas por cada especie nativa, lo que implica una transgresión de un 564,9%.

Tal como alertan los autores, se recomienda que en una futura estimación de estos límites se integre los impactos del cambio climático sobre la dinámica y distribución de las especies, puesto que se podría estar incurriendo en una subestimación de la tasa de extinción, así como, del número de ecosistemas que potencialmente podrían cambiar de categoría de conservación producto del cambio en las condiciones ambientales, lo que también podrían implicar una subestimación del límite del estado de conservación de los ecosistemas. Tampoco puede dejarse de lado los impactos derivados del resto de cambios globales actuales (cambios en el uso del suelo, desertificación y degradación) y las retroalimentaciones que existen entre ellos.

A pesar de ello, los resultados de los autores son importantes en la medida que revelan la urgencia de adoptar medidas para la protección y conservación de la biodiversidad del país. Específicamente, medidas que atiendan a la restauración de ecosistemas frágiles y fragmentados, disminuyan el riesgo de extinción de especies claves y minimicen los impactos de las especies exóticas invasoras sobre la vegetación y fauna del país.

d. Límite nacional de “Cambio de uso del suelo”

Para estimar el límite nacional de "cambio de uso del suelo", Marquet *et al.* (2022) definieron como variable operacional el porcentaje de la superficie del país que se ha convertido en tierras agrícolas, forestales y urbanizaciones. Este límite se define en no más del 15% del área libre de hielo, tomando en cuenta los estudios de Nykvist *et al.* (2013) y Rockström *et al.* (2009). Es importante destacar que este límite en particular está directamente vinculado con otros límites, como por ejemplo, el de pérdida de biodiversidad.

La superficie libre de hielo en Chile es de 73.246.140 ha, excluyendo el territorio antártico chileno, lo que lleva a un límite de uso de tierra de 10.986.920 ha, establecido en un 15% de dicha superficie.

Para verificar si se ha transgredido o no el límite, se utilizan los datos de superficie urbanizada del país del Instituto Nacional de Estadísticas (2019) y los datos del censo agropecuario y forestal (ODEPA, 2020b). Según estos datos, la

superficie transformada para usos humanos alcanza las 4.342.024 ha, lo que representa un 5,9% de la superficie nacional. Esto se encuentra por debajo del límite del 15% establecido previamente, lo que indica que dicho límite no ha sido excedido.

A pesar de que este límite no ha sido transgredido a nivel nacional, no se debe restar importancia a que existe una concentración de la población nacional en la zona centro-sur del país. A modo de ejemplo, la Región Metropolitana y la de Valparaíso poseen una densidad poblacional de 461,8 y 110,8 habitantes/km² respectivamente.

Adicionalmente, las regiones pertenecientes a la zona centro-sur del país también concentran la superficie destinada a actividades productivas, lo que ha originado el surgimiento de problemas y conflictos socioambientales, al producirse visiones contrapuestas respecto a los usos que se les desea otorgar al suelo. Un ejemplo de ello, es el conflicto socioambiental que existe entre los propietarios de las plantaciones forestales y las comunidades de diferentes localidades del país.

Los resultados de los autores, revelan una necesidad de efectuar un ordenamiento ambientalmente sostenible del territorio, el que debe ser realizado de forma proactiva y atendiendo a los intereses de los actores que habitan en los diferentes territorios.

e. Límite nacional de “Pesquerías”¹

En el estudio realizado por Marquet *et al.* (2021) se toma como referencia el trabajo de Cole *et al.* (2014) con el fin de establecer un límite nacional para las pesquerías. Los autores definieron a la categoría de clasificación de las pesquerías establecido por la SUBPESCA entre los años 2012 y 2021, como la variable operacional del límite de las pesquerías nacionales. El límite fijado fue de cero pesquerías nacionales en estado de colapso. A partir de ello, los autores del estudio estiman que Chile ha transgredido ampliamente dicho límite en todos los años analizados, agregando que “la brecha ambiental del país es profunda y demanda urgentemente un replanteamiento del modelo de desarrollo imperante”.

Estando de acuerdo en líneas generales con lo propuesto por Marquet y colaboradores, en el sentido de que la base del problema radicaría en parte en el modelo de desarrollo, también existen otras variables, internacionalmente estudiadas, en zonas geográficas con distintos modelos de desarrollo, y que sin embargo también participan en el problema que se describe, generando finamente resultados parecidos a la experiencia chilena.

¹ Esta sección fue elaborada por Ricardo Bravo, Humberto Díaz, Mario Herrera y Erika López, investigadores de la Universidad de Valparaíso.

Ateniéndonos a muchos estudios científicos que vienen abordando este tema de la sobreexplotación y agotamiento de los recursos pesqueros desde hace varias décadas, se sabe que la recuperación de las poblaciones marinas sobreexplotadas ha sido lenta, y la mayoría permanecen por debajo de los niveles de biomasa objetivo. Es conocido el hecho de que la resiliencia de las poblaciones sometidas a niveles moderados de sobrepesca ve mejorada su opción de recuperación. Sin embargo, la intensa sobreexplotación prolongada de un recurso aumenta notablemente la incertidumbre respecto a una posible recuperación. Un ejemplo claro de esto es el colapso de la merluza común en la zona central de Chile en 2004, producto por una parte a la sobreexplotación, pero también al aumento de un depredador natural conocido como calamar (o jibia) (*Dosidicus gigas*).

A pesar de los esfuerzos de las autoridades pesqueras, este recurso después de casi 20 años, no ha mostrado una recuperación saludable, sino solo una muy leve mejora, que lo mantiene en categoría de sobreexplotación, al límite del colapso. Es indudable que aquí hay otra variable que juega fuertemente en contra de la recuperación de la merluza común, y es la captura no reportada, unido a la pesca ilegal (no la de un pescador artesanal determinado sino a organizaciones ilegales bien estructuradas).

Ésta sería la principal fuente de distorsión de los datos de captura de la merluza, y de muchos otros recursos, lo que afecta la estimación de la mortalidad natural, y con ello, las recomendaciones y medidas impuestas para la gestión de la sustentabilidad de las pesquerías.

Es claro que cuando las pesquerías están sujetas a una ordenación adecuada, las poblaciones superan sistemáticamente los niveles objetivo o inician su recuperación. Sin embargo, ello está asociado a reducciones oportunas y decisivas en las tasas de captura, lo que no es fácil establecer por la autoridad política de turno debido a la fuerte presión de pesca por diferentes sectores. La realidad de las capturas actuales y los bajos niveles de biomasa hacen que la recuperación sea poco probable para la mayoría de las poblaciones agotadas de Chile y del mundo.

Es indudable que la sobreexplotación ha provocado el colapso de muchas de las pesquerías del mundo (Pedersen *et al.* 2017), en donde la mayoría de ellas no se ha logrado recuperar, y aquellas que lo han conseguido, ha sido principalmente debido a fuertes reducciones en la presión de pesca (Neubauer 2014).

f. Límite nacional de "Agotamiento del Ozono Estratosférico"

Para el límite nacional de "Agotamiento del Ozono Estratosférico", los autores utilizaron como variable operacional las sustancias agotadoras de la capa de ozono medidas en toneladas de potencial agotador de ozono (ton. PAO). El enfoque utilizado consistió en comparar el consumo de estas sustancias a nivel

nacional con los compromisos de cada país en el marco del Protocolo de Montreal, con el objetivo de reducir el uso de las Sustancias Agotadoras de la Capa de Ozono (SAO). La dimensión temporal utilizada fue anual.

En el caso de Chile, el presupuesto de este límite está establecido de acuerdo con el compromiso del gobierno chileno en el marco del Protocolo de Montreal. Chile se comprometió a reducir el consumo (importaciones) de hidroclorofluorocarbonos (HCFC) en un 45% respecto de la línea base de 1986 para el año 2020, y en un 65% para el año 2021, según lo indicado por el Ministerio del Medio Ambiente en 2018. La línea base para este grupo de SAO es de 87,51 toneladas PAO (INE, 2020). Por lo tanto, la meta para el año 2020 era llegar a reducir las emisiones a 39,4 toneladas PAO. Según el informe de la Secretaría de Ozono de las NU en 2021, esta meta se cumplió exitosamente, ya que el consumo de HCFC en 2020 fue de 27 toneladas PAO. Esto representa una reducción del 31,4% con respecto al límite establecido para el año 2020.

A modo de actualización, al año 2021 Chile debía reducir sus emisiones a 30,6 toneladas, objetivo que cumplió puesto que para ese año las emisiones PAO fueron de 14,79 (Secretaría de Ozono de las NU, 2023). Esto indica una reducción del 51,6% respecto al límite establecido para el año 2021.

g. Límite nacional de “Cambio Climático”

Para el límite nacional de “cambio climático”, Marquet et al. (2022) define a la emisión de CO₂eq como variable operacional, mientras que el valor del límite fue establecido en 645 MegatCO₂eq para el periodo 2020-2050. Este valor corresponde a las emisiones máximas que debería emitir Chile en el periodo 2030-2050 para cumplir con sus metas de reducción orientadas a mantener el aumento de temperatura en un límite de 1,5 °C. Específicamente, se calcula como la suma entre el presupuesto de emisiones para el periodo 2020-2030 (1100 MtCO₂eq), las capturas del sector UTCUTS en dicho periodo (-719 MtCO₂eq) y las emisiones netas del país para el periodo 2031-2050 teniendo en cuenta las acciones y objetivos comprometidos en la NDC del país (264 MtCO₂eq).

Para verificar si se transgrede o no el límite propuesto, se considera al escenario IBA3+ del Ministerio del Medio Ambiente, el que proyecta las emisiones del país considerando las acciones y políticas de mitigación que se encuentran definidas o planificadas públicamente de acuerdo con la información disponible hasta mayo de 2019, es decir, previo a la NDC del año 2020. En este escenario tendencial se estiman emisiones netas (considerando emisiones y capturas) de 2.168,5 MtCO₂eq para el 2020-2050, lo que implica una transgresión del 336% para el límite fijado de 645 MtCO₂eq.

Este límite cobra relevancia en la medida que puede orientar a las acciones que necesita realizar el Estado de Chile para evitar alcanzar un nivel de emisiones de gases de efecto invernadero que sea perjudicial para el planeta y sus

habitantes. Mostrando los resultados una necesidad de continuar avanzando en medidas de mitigación por sobre las ya establecidas en las políticas actuales.

h. Límite nacional de “Flujos biogeoquímicos”

A pesar de que el uso de fertilizantes promueve la producción de cultivos, su aplicación excesiva tiene impactos negativos en la salud humana y el medio ambiente (Zhang *et al.* en 2015). Entre los impactos generados por su uso excesivo, se destaca la contaminación y eutrofización de ecosistemas de agua dulce y marinos.

Considerando estos antecedentes, los autores definen dos límites nacionales asociados a los flujos biogeoquímicos. Uno para el nitrógeno y otro para el fósforo, los que se abordan a continuación:

Nitrógeno: El nitrógeno es el principal fertilizante utilizado en la agricultura chilena, representando el 46.1% del consumo total en el periodo 2014-2015. Según Dao *et al.* (2015), en suelos agrícolas, alrededor del 25% del nitrógeno aplicado se pierde por lixiviación o escorrentía. Esta pérdida de nitrógeno provoca contaminación y eutrofización en ecosistemas de agua dulce y marinos (Rockstrom *et al.*, 2009; Steffen *et al.*, 2015).

En Chile, en los últimos años se ha evidenciado un aumento en el uso total de nitrógeno en la agricultura, pese a que existe una disminución en la eficiencia de su uso como fertilizante. Como resultado, las pérdidas de nitrógeno al medio ambiente han aumentado (Zhang *et al.*, 2015), y junto con ello se han acrecentado sus impactos negativos.

Para el flujo biogeoquímico del nitrógeno, los autores definieron dos variables operaciones: uso de nitrógeno total en fertilizantes y pérdida/liberación de nitrógeno.

El valor del límite en Chile para el uso de nitrógeno total en fertilizantes considera un valor inferior de $1,11E+08 \text{ Kg N a}^{-1}$ y un valor superior de $1,49E+08 \text{ Kg N a}^{-1}$, mientras que la pérdida/liberación máxima de N a través del uso de fertilizantes y de la salmonicultura se fija en $7,60E+05 \text{ Kg N a}^{-1}$.

La evaluación de los autores indica que Chile superó los límites nacionales de aplicación de nitrógeno en cultivos y pérdida/liberación de nitrógeno al ambiente. En 2016, se aplicó un 75% más fertilizante que el límite nacional. La pérdida/liberación de nitrógeno total (agricultura + salmonicultura) superó el límite nacional un 51,9%.

Los resultados obtenidos, revelan la necesidad de disminuir y controlar la aplicación excesiva de fertilizantes en la agricultura, aspecto que no necesariamente debería afectar la producción, considerando la reducción que ha existido en el rendimiento de su aplicación. En el caso de la salmonicultura,

se sugiere aplicar técnicas de biorremediación, como la acuicultura multitrófica integrada, que podrían reducir en un 80% la liberación de nitrógeno a través del consumo de nutrientes por parte de algas y mitílidos (Buschmann *et al.*, 2001; Mente *et al.*, 2006).

Fósforo: En el país, el fósforo constituye el segundo fertilizante más utilizado después del nitrógeno. En el periodo 2014-2015, aproximadamente el 30.6% de los fertilizantes consumidos estuvieron relacionados con el fósforo (Marquet *et al.*, 2022). Este elemento es principalmente utilizado en la producción de cereales (33,1%), pastizales (32,3%), y frutales (7,7%) (Ulibarry, 2019).

“Existe una necesidad de disminuir y controlar la aplicación excesiva de fertilizantes en la agricultura, aspecto que no necesariamente debería afectar la producción.”

En cuanto al flujo biogeoquímico del fósforo, los autores definen al uso de fósforo total en fertilizantes como variable operacional.

El valor del límite en Chile considera un valor inferior de $1,11E+07$ Kg P a-1 y un valor superior de $2,03E+07$ Kg P a-1.

Al evaluar el rendimiento de este límite en Chile, los autores obtuvieron que ha sido transgredido en un 290,7% respecto al límite superior.

En resumidas cuentas, la definición de los límites nacionales para el fósforo y el nitrógeno, es un insumo relevante para evaluar la eficacia de las políticas y regulaciones establecidas en el país a la fecha, de tal manera de crear e implementar nuevas regulaciones afines que permitan efectuar una gestión sostenible de las actividades agrícolas, en las que normalmente se hace uso de fertilizantes que contienen estos elementos en grandes cantidades.

Adicionalmente, adquiere relevancia que el Estado realice estudios de seguimiento, análisis de tendencias y comparaciones del uso de fertilizantes entre regiones y localidades del país para poder dirigir las acciones de manera eficiente y en concordancia con las distintas realidades territoriales.

i. Límite nacional de “Contaminación química”

Se ha constatado a nivel nacional e internacional que la contaminación química está en constante aumento. Un ejemplo evidente de ello es la base de datos de la prestigiosa American Chemical Society, que identificó en 1993 más de 13 millones de productos químicos, a los que se suman anualmente alrededor de 500.000 nuevos compuestos. Estos compuestos generan una carga de sustancias contaminantes en la atmósfera, suelos y agua, lo que constituye un motivo de preocupación (Ongley, 1997).

Los plaguicidas son una clase de compuestos químicos sintéticos que se encuentran vastamente distribuidos en el planeta. Estos productos son ampliamente utilizados en la agricultura para controlar el impacto adverso de plagas, enfermedades y malezas en la productividad de los cultivos. Sin embargo, es importante destacar que los pesticidas también conllevan la generación de contaminación que puede tener efectos negativos en el funcionamiento de los ecosistemas naturales y la salud humana. Estos impactos pueden incluir la alteración de la biodiversidad, la contaminación de suelos y agua, y la exposición a residuos de pesticidas en alimentos y el ambiente, lo que puede tener implicaciones para la salud de las personas y la sostenibilidad del medio ambiente.

Entre los efectos que genera en la salud humana, se encuentran problemas como el cáncer, deformaciones congénitas, alteraciones hormonales, deficiencias en el sistema reproductivo, daños celulares, problemas respiratorios, trastornos de memoria, enfermedades de la piel, depresión, abortos y enfermedades neurológicas (Nicolopoulou-Stamati *et al.*, 2016).

Dado que este límite no ha sido cuantificado o determinado a nivel mundial, lo que significa que no se sabe en qué punto se sobrepasa la “zona segura del planeta” (Rockström *et al.*, 2009; Steffen *et al.*, 2015), los autores propusieron evaluar el límite sólo para los plaguicidas. Para esto realizaron una regresión lineal entre el área de cultivos agrícolas y la cantidad de pesticidas usados a nivel mundial. En base a esta relación, el límite nacional propuesto se definió como el valor esperado del uso de pesticidas con respecto al área cultivada de cada país. En este caso, el límite de uso de pesticidas para Chile es 1.318,91 toneladas.

La evaluación del límite en Chile realizada por Marquet *et al.* (2022) indica que en el año 2018 Chile aplicó un total de 9.831 toneladas de pesticidas, lo que implica que el límite fue transgredido en un 645,4%.

Al igual que en el caso de los flujos biogeoquímicos, la información provista por los autores es relevante para abrir el debate en cuanto al uso de pesticidas en nuestro país y proseguir a la evaluación de las políticas nacionales y el planteamiento de nuevas regulaciones que permitan proteger la salud de las personas y los ecosistemas.

j. Síntesis de la brecha ambiental chilena

En resumidas cuentas, de los diez límites evaluados por los autores, **nueve han sido transgredidos**, que en orden decreciente corresponden a: la contaminación química, pesquerías, fósforo, pérdida en biodiversidad, cambio climático, nitrógeno, uso de agua dulce desde la macrozona norte a la macrozona centro, contaminación atmosférica y cambio de uso de suelo (a nivel de Chile central). Y respecto a los cuales únicamente **tres están debajo del límite establecido como óptimo** (agotamiento del ozono estratosférico, el

uso de agua dulce desde la macrozona centro-sur a la austral y el cambio de uso de suelo a nivel nacional).

Por un lado, se destaca que con la revisión del presente informe se actualiza la información del límite de contaminación atmosférica y de agotamiento del ozono estratosférico. En el caso de la contaminación atmosférica la transgresión del límite aumentó en un 3,91%, mientras que en el caso del ozono estratosférico el límite sigue sin ser transgredido.

Finalmente, se resalta que la información proporcionada por Marquet et al. (2022) se alinea con los resultados obtenidos por el CAPP (2023), ya que ambos estudios evidencian la necesidad de replantear la modalidad de desarrollo prevaleciente en el país y dar paso a un nuevo modelo de desarrollo ambientalmente sostenible.

3. Desafíos para una política medioambiental innovadora

A continuación, se presenta un conjunto de propuestas para cada uno de los componentes de la naturaleza, incluyendo aquellas extraídas de la información provista por los límites ambientales a escala nacional. Para la desagregación de las propuestas se consideran los componentes de la naturaleza y sociales analizados por el CAPP en el "Informe País: Estado del Medio Ambiente y Patrimonio Natural": 1) aire; 2) aguas continentales; 3) bosques nativos; 4) biodiversidad; 5) tierras; 6) ecosistemas marinos y del borde costero; y 7) asentamientos humanos. Por último, se plantean propuestas para fortalecer la gestión ambiental.



AIRE

- Fortalecer la evaluación del impacto ambiental de los proyectos o actividades que se desarrollen en zonas declaradas latentes o saturadas.
- Fortalecer las capacidades del personal encargado de validar y unificar los datos provenientes de las diferentes estaciones de monitoreo de la calidad del aire.
- Definir y establecer estaciones de monitoreo representativas para cada una de las comunas del territorio nacional.
- Fomentar instancias de retroalimentación ciudadana en el sistema de monitoreo de la calidad del aire.
- Mejorar los mecanismos de comunicación de la información a la sociedad de forma clara y comprensible.

- Actualizar periódicamente y crear nuevas normas de calidad del aire.
- Actualizar los criterios para la declaración de Zonas Saturadas/Latentes y la elaboración e implementación de Planes de Prevención y/o Descontaminación Ambiental.
- Fortalecer la fiscalización de los instrumentos de gestión de calidad del aire.
- Mejorar y modernizar el soporte tecnológico asociado a las actividades de fiscalización de la calidad del aire.
- Promover el uso de un sistema de transporte seguro y sustentable.



AGUAS CONTINENTALES

- Garantizar el derecho humano al agua y saneamiento.
- Fortalecer el marco normativo para el reúso de aguas residuales tratadas.
- Establecer un marco jurídico que asegure el tratamiento adecuado del agua de mar y la sustentabilidad de este recurso.
- Desarrollar una Estrategia Nacional de Desalinización que establezca directrices y prioridades para el uso del agua de mar y la instalación de plantas desalinizadoras.
- Modificar el procedimiento de solicitud y caducidad de las concesiones marítimas, dando prioridad al uso del agua para consumo humano, doméstico, saneamiento y para mantener un caudal ecológico en los acuíferos.
- Modificar el marco legal e institucional, incluyendo las disposiciones pertinentes en la Constitución de la República y el Código de Aguas, para que los Derechos de Aprovechamiento de Aguas, tanto actuales como futuros, sean otorgados como concesiones por un período de tiempo determinado de acuerdo a los usos solicitados.
- Reorganizar y fortalecer la institucionalidad encargada de los recursos hídricos, para evitar superposiciones/duplicidades de competencias y mejorar su eficacia y eficiencia.
- Promover el desarrollo y fortalecimiento de la gobernanza de los recursos hídricos a nivel de cuencas.
- Fomentar la investigación para el desarrollo de nuevas fuentes de agua, mejora de la eficiencia en el uso del agua, recarga de acuíferos y reducción de los costos de producción y transporte del agua.

- Impulsar el aprovechamiento de aguas de lluvia y neblina, mediante la introducción de nuevas tecnologías más eficientes y a mayor escala en todas las zonas del país que reúnan condiciones favorables, como el secano costero.
- Fomentar la colaboración entre el sector público y privado en la gestión del recurso hídrico.



BOSQUES NATIVOS

- Establecer una institucionalidad robusta y actualizada mediante la creación del Servicio Nacional Forestal, que reemplace a la actual CONAF, y del Servicio de Biodiversidad y Áreas Protegidas.
- Aumentar significativamente el financiamiento para la administración, regulación y protección del bosque nativo.
- Ampliar los espacios para la discusión y promover la generación de acuerdos entre las partes interesadas.
- Promover la coordinación y coherencia entre las instituciones y políticas en materia de restauración y conservación.
- Ampliar e intensificar la cooperación con propietarios, organizaciones de la sociedad civil y sector privado, así como a nivel internacional.
- Generar y/o fortalecer la Contribución Nacional Determinada (NDC) en materia de adaptación al cambio climático de los bosques nativos.



BIODIVERSIDAD

- Mejorar el conocimiento sobre la biodiversidad.
- Fortalecer la recopilación y sistematización de datos sobre la biodiversidad.
- Fortalecer y crear nuevos instrumentos para la protección y conservación de la biodiversidad como, por ejemplo, el Pago por Servicios Ambientales.

- Aumentar el presupuesto asignado a la investigación y protección de la biodiversidad.
- Educar e involucrar activamente a la ciudadanía en la protección de la biodiversidad.
- Aumentar la representación ecosistémica en el Servicio Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado (SNASPE).
- Actualizar los Planes de Manejo de las Áreas Protegidas del país.
- Contar con un Servicio de Biodiversidad y Áreas Protegidas (SBAP).
- Elaborar una Estrategia de Turismo y Uso Sostenible de Áreas Naturales.
- Elaborar un Plan Nacional de Recuperación de Ecosistemas, con foco en humedales y hotspot.
- Elaborar Planes de Acción para la Recuperación de Especies Amenazadas y en Peligro de Extinción.



TIERRAS

- Promover y fortalecer programas de adaptación al cambio climático, privilegiando las Soluciones Basadas en la Naturaleza, en los Ecosistemas y en las Comunidades, para el control de la erosión y la gestión de los recursos vegetacionales.
- Fortalecer los programas nacionales para lograr la Degradación Neutral de las Tierras, en línea con los compromisos internacionales asumidos por el país con la UNCCD, potenciando la reforestación, revegetación y la agroforestería, y utilizando preferentemente especies nativas en comunas/áreas prioritarias, considerando criterios de afectación por factores de degradación/desertificación y la incidencia actual y futura de los efectos negativos del cambio climático, como aumentos de temperaturas y reducción de precipitaciones.
- Fomentar la restauración de ecosistemas afectados por incendios forestales.
- Promover la silvicultura preventiva, con énfasis en la interfaz urbano-rural.
- Diseñar un modelo de ordenación forestal institucional enfocado en terrenos públicos y privados.
- Fortalecer el programa de dendroenergía y la matriz energética del país.

- Impulsar el estricto cumplimiento de las regulaciones existentes en cuanto a las franjas de amortiguación para plantaciones cercanas a centros poblados, riberas y otras áreas diseñadas para reducir el riesgo de incendios forestales, así como elaborar nuevas franjas de amortiguación para actividades ganaderas.
- Fortalecer el Programa de protección fitosanitaria de los recursos vegetacionales nativos.
- Priorizar la elaboración de una Ley Marco de Suelos.



ECOSISTEMAS MARINOS Y DEL BORDE COSTERO

- Establecer normas de calidad secundaria para aguas y sedimentos marinos.
- Priorizar la elaboración de una Ley de Costas.
- Articular las zonificaciones costeras con los Instrumentos de Planificación y Ordenamiento Territorial.
- Conformar una red de trabajo público-privada para enfrentar los impactos del cambio climático y la acidificación marina.
- Fortalecer la evaluación ambiental de proyectos de desalinización de agua de mar.
- Modificar la ley de pesca en materia del uso sustentable de los recursos hidrobiológicos.
- Generar un valor agregado a la pesca artesanal.



ASENTAMIENTOS HUMANOS

- Elaborar los Planes Regionales de Ordenamiento Territorial, con enfoque de riesgo, prevención, infraestructura resiliente y adaptación climática en zonas urbanas
- Modificar el Decreto Ley N° 3.516, que establece normas sobre la división de predios rústicos.
- Fortalecer la Planificación Ecológica de los Territorios.

- Implementar la Política Nacional de Ordenamiento Territorial.



GESTIÓN AMBIENTAL

- Constituir un Comité Interministerial para la Planificación y Gestión Sustentable.
- Constituir Comités Regionales y Locales para la Planificación y Gestión Sustentable.
- Articular e implementar instancias de encuentro tripartitas entre el Estado, el sector privado y la sociedad civil.
- Esquematizar y priorizar las principales problemáticas medioambientales regionales, comunales y locales.
- Elaborar e implementar un plan de acción para las principales problemáticas medioambientales.
- Monitorear el estado de implementación de los instrumentos de conservación, restauración y preservación de los recursos naturales y ecosistemas.
- Diseñar e implementar un instrumento que articule las herramientas existentes para el manejo de los recursos naturales y sus ecosistemas.
- Evaluar la eficacia del instrumento para la protección y conservación de los recursos naturales y sus ecosistemas a partir de instancias tripartitas.

El conjunto de elementos propuestos en esta sección, podrían contribuir al desarrollo ambientalmente sustentable del país, al bienestar de la población y al **reconocimiento de que hay umbrales que, si se traspasan, afectarán no sólo a la naturaleza y su diversidad, sino también a la calidad de vida a la que la sociedad aspira.**

4. Referencias bibliográficas

- Alaniz, A.J., Galleguillos, M., Perez-Quezada, J.F. (2016). Assessment of quality of input data used to classify ecosystems according to the IUCN Red List methodology: The case of the central Chile hotspot. *Biological Conservation*, 204, 378–385. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.10.038>.
- Buschmann, A.H., Troell, M., Kautsky, N. (2001). Integrated algal farming: a review. *Cahiers de Biologie marine*, 42, 83–90.
- Cole, M.J., Bailey, R.M., New, M.G. (2014). Tracking sustainable development with a national barometer for South Africa using a downscaled "safe and just space" framework. *Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)*, 111, E4399–E4408. <https://doi.org/10.1073/pnas.1400985111>
- Dao, Q.-H., Peduzzi, P., Chatenoux, B., De Bono, A., Schwarzer, S., Friot, D. (2015). Environmental limits and Swiss footprints based on Planetary Boundaries.
- Fang, K., Heijungs, R., Duan, Z., de Snoo, G. (2015). The Environmental Sustainability of Nations: Benchmarking the Carbon, Water and Land Footprints against Allocated Planetary Boundaries. *Sustainability*, 7, 11285–11305. <https://doi.org/10.3390/su70811285>.
- Fuster, R., González, L., Morales, L., Cerca, C., Hernández, J., Sotomayor, D. (2009). Informe Final. Estudio "Gestión Integrada de los Recursos Hídricos en Chile". Recuperado de <https://research.csiro.au/gestionrapel/wp-content/uploads/sites/79/2016/11/Estudio-%E2%80%9CGesti%C3%B3n-Integrada-de-los-Recursos-H%C3%ADricos-en-Chile%E2%80%9D.-Informe-final-2009.pdf>
- INE. (2020). Informe anual de medio ambiente 2020. Santiago, Chile.
- Jaksic, F. & Mella-Flores, D. (2023). Biodiversidad. En G. Orrego (Ed.), *Informe País Estado del Medio Ambiente y Patrimonio Natural* (pp. 466-596). Santiago, Chile.
- Manterola, C., Astudillo, P., Arias, E., & Claros, N. (2013). Revisiones sistemáticas de la literatura. Qué se debe saber acerca de ellas. *Cirugía Española*, 91(3), 149-155. doi: 10.1016/j.ciresp.2011.07.009
- Marquet, P.A., Gaxiola, A., Ávila-Thieme, M.I., Pica-Téllez, A., Vicuña, S., Alaniz, A., ... & Menares, L. (2022). Las tres brechas del desarrollo sostenible y el cierre de la brecha ambiental en Chile, Oportunidades para una recuperación pospandemia más sostenible y con bajas emisiones de carbono en América Latina y el Caribe. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 109 pp.
- Mente, E., Pierce, G.J., Santos, M.B., & Neofitou, C. (2006). Effect of feed and feeding in the culture of salmonids on the marine aquatic environment: a synthesis for European aquaculture. *Aquacult Int*, 14, 499-522. <https://doi.org/10.1007/s10499-006-9051-4>
- Ministerio del Medio Ambiente. (2018). Chile y su cumplimiento ante al Protocolo de Montreal.

- Naciones Unidas. (2023). *¿Qué es la triple crisis planetaria?* Recuperado de <https://unfccc.int/es/blog/que-es-la-triple-crisis-planetaria#:~:text=La%20triple%20crisis%20planetaria%20se,y%20la%20p%C3%A9rdida%20de%20biodiversidad>.
- Neubauer, P., et al. (2013). Resilience and Recovery of Overexploited Marine Populations. *Science*, 340, 347-349.
- Nicolopoulou-Stamati, P., et al. (2016). Chemical Pesticides and Human Health: The Urgent Need for a New Concept in Agriculture. *Front. Public Health*, 0. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2016.00148>
- Nykvist, B., & Sverige, Naturvårdsverket. (2013). National environmental performance on planetary boundaries: a study for the Swedish Environmental Protection Agency. Swedish Environmental Protection Agency, Stockholm.
- Orrego, G., Espíndola, L., Pogorelow, B., Leal, J., Morales, C., & Saa, R. (2023). Informe País: Estado del Medio Ambiente en Chile 2022. Resumen para tomadores de decisiones. Santiago, Chile.
- ODEPA. (2020). Ficha Nacional. Información Nacional 2020.
- Ongley, E.D. (1997). Lucha contra la contaminación agrícola de los recursos hídricos. GEMS/Water Collaborating Centre Canada Centre for Inland Waters, 55.
- Pedersen, E., Thompson, P., Ball, R., et al. (2017). Signatures of the collapse and incipient recovery of an overexploited marine ecosystem. *R. Soc. open sci.*, 4, 170215. <http://dx.doi.org/10.1098/rsos.170215>
- Pliscoff, P. (2015). Aplicación de los criterios de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN) para la evaluación de riesgo de los ecosistemas terrestres de Chile. Ministerio del Medio Ambiente, Santiago, Chile.
- Rockström, J., et al. (2009). Planetary boundaries: Exploring the safe operating space for humanity. *Ecology and Society*, 14.
- Secretaría de Ozono de las Naciones Unidas. (2021). Chile. Reported data. Recuperado de <https://ozone.unep.org/countries/profile/chl>
- Steffen, W., et al. (2015). Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science*, 347. <https://doi.org/10.1126/science.1259855>
- Terradas, J. (2009). Los límites planetarios. *Ambienta: La revista del Ministerio de Medio Ambiente*, (89), 8-19.
- Ulibarry, P.G. (2019). Consumo y mercado de los fertilizantes 5. Asesoría Técnica Parlamentaria, Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, abril 2019.

UNESCO. (2022). Informe del estado de los Océanos. Recuperado de <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000381921>

Universidad de Chile y Pontificia Universidad Católica de Chile. (2017). Actualización del Balance Hídrico Nacional. Recuperado de: <https://snia.mop.gob.cl/sad/REH5796v1.pdf>

Zhang X., et al. (2015). Managing nitrogen for sustainable development. Nature, 528, 51-59. <https://doi.org/10.1038/nature15743>