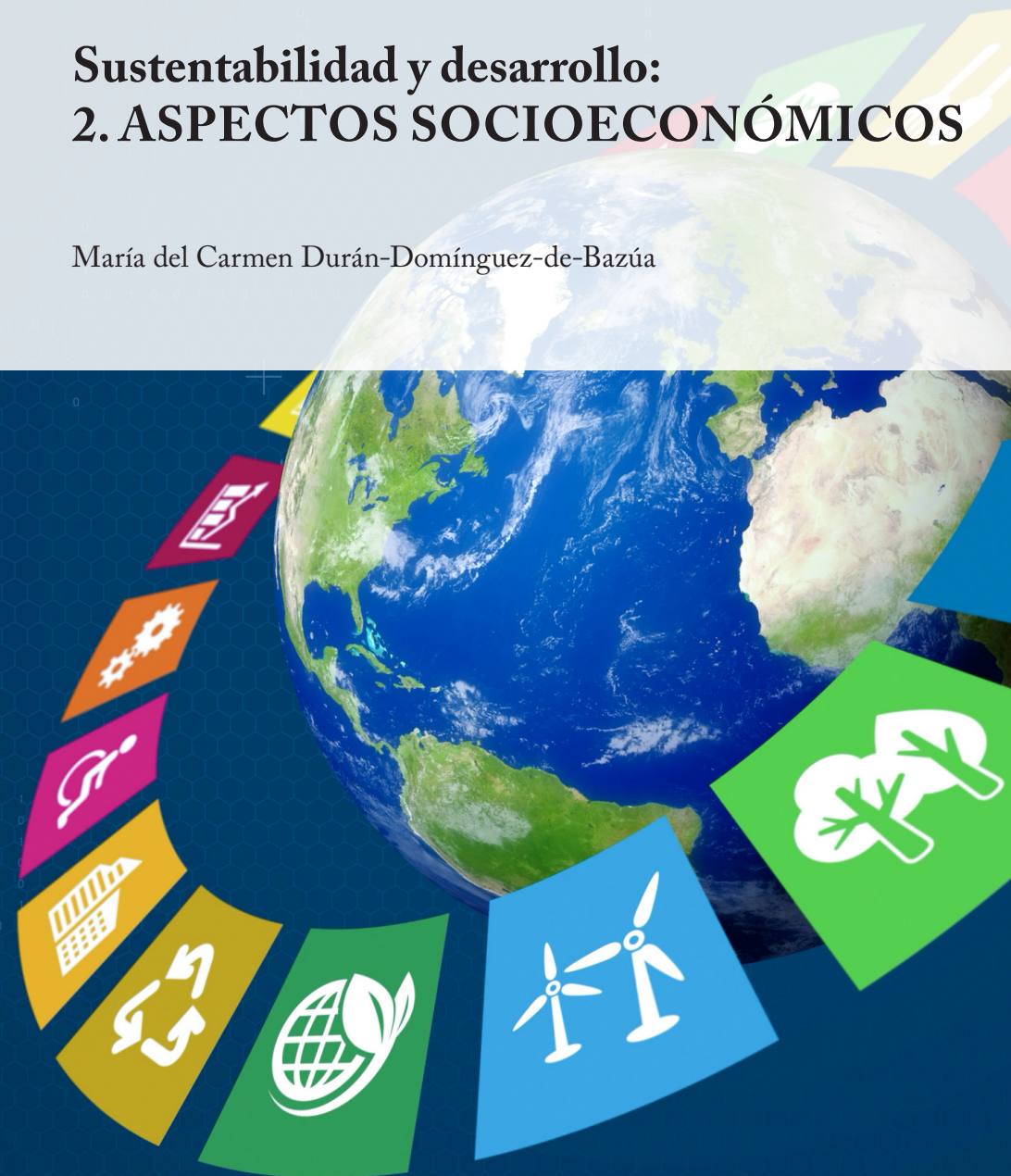


*Sustainability and development:*  
**2. SOCIOECONOMICAL ASPECTS**

**Sustentabilidad y desarrollo:**  
**2. ASPECTOS SOCIOECONÓMICOS**

María del Carmen Durán-Domínguez-de-Bazúa



Hoja intencionalmente en blanco  
*Intentionally blank page*

*Sustainability and development:*  
**2. SOCIOECONOMICAL ASPECTS**

**Sustentabilidad y desarrollo:**  
**2. ASPECTOS SOCIOECONÓMICOS**

Editado por / *Edited by:*

Profra. Dr.-Ing. I.Q. María del Carmen Durán-Domínguez-de-Bazúa,  
M.S.Ch.E.



Deutscher Akademischer Austauschdienst  
Servicio Alemán de Intercambio Académico



HELMHOLTZ  
Centre for Environmental Research





CONACYT  
Registro Nacional de Instituciones  
y Empresas Científicas y Tecnológicas  
Registro: 1900555

ISBN 978-607-437-584-8

AM Editores / *AM Publishers*

©

Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM  
Facultad de Química, Departamento de Ingeniería Química, FQ-DIQ  
Laboratorios de Ingeniería Química Ambiental y de Química Ambiental, LIQyQA

Deutscher Akademischer Austauschdienst, DAAD. Financiado parcialmente por el Servicio Alemán de Intercambio Académico (DAAD) con fondos del Ministerio Federal para la Cooperación Económica y el Desarrollo de la República Federal de Alemania (AA) / *Funded in part by the German Academic Exchange Service (DAAD) with funds from the Federal Ministry for Economic Cooperation and Development of the Federal Republic of Germany (AA)*

Ciudad de México, México / *Mexico City, Mexico*

2022

Editado por / *Edited by:*

Profa. Dr.-Ing. María del Carmen Durán-Domínguez-de-Bazúa

Apoyo logístico / *Logistical support:*

Dra. en Ing. Marisela Bernal-González

M. en C. Rolando Salvador García-Gómez

M. en A.I. Landy Irene Ramírez-Burgos

El material de este libro-e ha sido evaluado por pares. Su contenido es responsabilidad de sus autores / *The material in this book has been peer reviewed. Its content is the responsibility of its authors*

Este libro usa el punto decimal y el sistema internacional de unidades. Los guarismos van junto a las unidades °C y % / *This book uses decimal point and the international system of units. The figures go together with the units °C and %*

## Índice / Index

		Pág. <i>page</i>	
	<b>Prefacio</b>	<b><i>Preamble</i></b>	13
	<i>Prólogo</i>	<i>Foreword</i>	21
1.	Declaratoria oficial Servicio Alemán de Intercambio Académico	<i>Official statement</i> <i>Deutscher Akademischer</i> <i>Austauschdienst, DAAD</i>	27
	Dra. Katharina Fleckenstein, Directora de la Oficina Regional para México, Centro América y el Caribe	<i>Direktorin des Regionalbüros für</i> <i>Mexiko, Mittelamerika und die</i> <i>Karibik</i> <i>Director of the Regional Office</i> <i>for Mexico, Central America, and</i> <i>the Caribbean</i>	29
	Lic. Alejandro Cadena-Ramos, Coordinador de <i>Alumni</i> y <i>Alumnae</i> , en representación de la Dra. Katharina Fleckenstein	<i>Coordinator of Alumni and</i> <i>Alumnae, on behalf of Mrs.</i> <i>Dr. Katharina Fleckenstein</i>	
	Universidad Nacional Autónoma de México, Profa. Dra. Rosa María Ramírez-Zamora, Directora del Instituto de Ingeniería de la UNAM	UNAM <i>Director of the Engineering</i> <i>Institute of UNAM</i>	33
	Dra. Rosa María Flores- Serrano, en representación de la Profa. Dra. Rosa María Ramírez-Zamora	<i>On behalf of Mrs. Prof. Dr. Rosa</i> <i>María Ramírez-Zamora</i>	

y	<i>and</i>	
MVZ Carlos Labastida-Villegas, Secretario Particular de la Dirección, en representación del Director de la Facultad de Química de la UNAM, Prof. Dr. Carlos Amador-Bedolla	<i>Mr. MVZ Carlos Labastida-Villegas, Private Secretary of the Directorate, on behalf of the Director of the Faculty of Chemistry at UNAM, Prof. Dr. Carlos Amador-Bedolla</i>	36
2. Prof. Dr. Roland Arno Müller Jefe de Departamento, Departamento Centro de Biotecnología y Ambiente, Centro Helmholtz de Investigación Ambiental - UFZ, Leipzig, Alemania	<i>Departmentleiter, Department Umwelt- und Biotechnologisches Zentrum, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung-UFZ / Head of Department, Environmental and Biotechnology Centre, Helmholtz Centre for Environmental Research-UFZ</i>	41
Gambaatar Khurelbaatar, en representación del Prof. Dr. Roland Arno Müller Jan Friesen Manfred van Afferden	<i>On behalf of Prof. Dr. Roland Arno Müller</i>	
Conferencia magistral inaugural:	<i>Opening keynote conference:</i>	
Herramienta de apoyo a la toma de decisiones basada en SIG para escenarios de gestión de aguas residuales	<i>GIS-based decision support tool for wastewater management scenarios</i>	
3. Prof. Dr. Amado Enrique Navarro-Frómata	<i>Invited Scholar</i>	73
Profesor Titular de la Universidad Tecnológica de Izúcar de Matamoros, Puebla, México	<i>Professor of the Universidad Tecnológica de Izúcar de Matamoros, Puebla, Mexico</i>	

	Conferencia magistral de clausura:	<i>Closing keynote conference:</i>	
	El agua dulce y su frontera planetaria	<i>Fresh water and its planetary frontier</i>	
	<b>PRIMERA PARTE</b>	<b>PART ONE</b>	
	Capítulos de expertos sobre (6) Agua limpia y saneamiento, (7) Energía limpia y asequible	<i>Chapters of experts on (6) Clean water and sanitation, (7) Affordable and clean energy</i>	
	Dra. Glinda Irazoque-Palazuelos, Moderadora, <i>DAAD Alumna</i>	<i>Chairperson Professor of the Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Química</i>	
4.	Dra. Silvia Domínguez-Parra, <i>DAAD Alumna</i>	<i>Universidad Internacional, ESCAT</i>	95
	El efecto del cambio climático en los recursos naturales y la expectativa de restauración en México de acuerdo con el PNUMA	<i>The effect of climate change on natural resources and the expectation of restoration in Mexico according to UNEP</i>	
5.	María de los Ángeles Vargas-Hernández, <i>DAAD Alumna</i>	<i>Professor-Researcher in the Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec, Estado de México, México</i>	119
	Nanocompuestos de arcilla-biopolímero como adsorbentes sustentables para el tratamiento de agua	<i>Clay-biopolymer nanocomposites as sustainable adsorbents for water treatment</i>	
6.	Antonio Esteban Jiménez-González, <i>DAAD Alumnus</i>	<i>Professor-Researcher in the Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto</i>	129

Fernando Robles-Montes,  
Christopher Rosiles-Pérez

de Energías Renovables,  
Temixco, Morelos, México

José Luis Sosa-Sánchez

Centro de Investigación en  
Dispositivos Semiconductores  
Instituto de Ciencias  
Benemérita Universidad  
Autónoma de Puebla, Mexico

Avances en el desarrollo de  
celdas solares de perovskita

*Advances in the development of  
perovskite solar cells*

## SEGUNDA PARTE

Capítulos de expertos sobre  
(8) Trabajo decente y  
crecimiento económico,  
(11) Ciudades y comunidades  
sustentables o sostenibles

## PART TWO

*Chapters of experts on  
(8) Decent work and economic  
growth,  
(11) Sustainable cities and  
communities*

Dr. Gerardo Reyes-Guzmán,  
Moderador, DAAD Alumnus

*Chairperson  
Professor of the Universidad La  
Salle Bajío, México*

7. Marcos Tlamayanco-Castro,  
DAAD Alumnus

*Universidad Autónoma del  
Estado de Hidalgo, México*

151

Ambiente y comercio  
internacional, consideraciones  
contempladas en el T-MEC

*Environment and international  
trade, considerations contemplated  
in the T-MEC*

8. Gerardo Reyes-Guzmán,  
DAAD Alumnus

Universidad La Salle Campus  
Salamanca, México

175

Reflexiones en torno a la  
Economía Circular: Teoría y  
práctica

*Reflections on the Circular  
Economy: Theory and Practice*

9.	Dr. Leonel Ernesto Amábilis-Sosa, <i>Academic Scholar</i>	Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Conacyt-Tecnológico, Nacional de México Instituto Tecnológico de Culiacán, Sinaloa, México	191
	Sait Omar Cristerna-Sosa,	Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Culiacán, División de Estudios de Posgrado e Investigación, Sinaloa, México	
	Natalia Aguilar-Serrano,	Vida Sostenible A. C.	
	Adriana Roé-Sosa, <i>Academic Scholar</i>	Universidad Tecnológica de Culiacán, Coordinación de Ingeniería en Tecnología Ambiental, Sinaloa, México	
	Propuesta técnica para la generación y uso de biogás a partir de residuos agrícolas y ganaderos en una comunidad de Sinaloa, Mexico	<i>Technical proposal for the generation and use of biogas from agricultural and livestock waste in a community in Sinaloa, Mexico</i>	
	<b>TERCERA PARTE</b> Capítulos de expertos sobre (9) Industria, innovación e infraestructura, (12) Consumo y producción responsables	<b>PART THREE</b> <i>Chapters of experts on (9) Industry, innovation, and infrastructure, (12) Responsible consumption and production</i>	
	Dra. Carolina Peña-Montes, Moderadora, <i>DAAD Alumna</i>	<i>Chairperson</i> Professor-Researcher of the Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Veracruz, UNIDA, México	

10.	Alejandra Castro-González, <i>DAAD Alumna</i>	<i>Professor in the Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería, Laboratorio de Producción y Utilización de Biocombustibles, LAEL, México</i>	211
	Tecnologías para el uso de biomasa y su conversión en energía térmica, eléctrica y/o mecánica	<i>Technologies for the use of biomass and its conversion into thermal, electrical, and / or mechanical energy</i>	
11.	Salvador Alejandro Sánchez-Tovar, Consultor invitado	<i>Invited consultant</i>	231
	La reutilización del agua tratada en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales de Morelia Michoacán y el rescate urgente del Lago de Cuitzeo	<i>The reuse of treated water in the Morelia Michoacán wastewater treatment plants and the urgent rescue of Lake Cuitzeo</i>	
12.	Rosario Valencia-Castillo, <i>DAAD Alumna</i>	CUVISAR Oficina de Transferencia de Conocimientos (OTC), Xalapa, Veracruz, México	251
	Los lineamientos de la Conducta Empresarial Responsable (CER) emitidos por la OCDE y su alineación con los ODS	<i>The guidelines for Responsible Business Conduct (CER) issued by the OECD and their alignment with the SDGs</i>	
	<b>CUARTA PARTE</b> Capítulos de expertos sobre (1) No pobreza, (17) Alianzas para alcanzar los objetivos	<b>PART FOUR</b> <i>Chapters of experts on</i> (1) <i>No poverty,</i> (17) <i>Partnerships for the goals</i>	

	Georgina Fernández-Villagómez, Moderadora, <i>DAAD Alumna</i>	<i>Chairperson</i> <i>Professor in the</i> Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería, México	
13.	Julio Alberto Solís-Fuentes, <i>Invited Scholar</i>	<i>Professor-Researcher in the</i> Universidad Veracruzana, Instituto de Ciencias Básicas, Xalapa, Veracruz, México	271
	María del Carmen Durán-Domínguez-de-Bazúa, <i>DAAD Alumna</i>	<i>Professor in the</i> Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Química, México	
	Investigación de materiales para la producción sostenible de biodiésel a costos más bajos en contextos subdesarrollados	<i>Investigation of materials for the sustainable production of biodiesel at lower costs in underdeveloped contexts</i>	
14.	Diana Yomalli Alvarez-Esquivel, <i>DAAD Alumna</i>	<i>Technische Universität Braunschweig, Germany, DAAD Alumna</i>	289
	Robert Keith Brown,	<i>BES Lab</i>	
	Uwe Schröder	<i>Leiter des Institutes für Ökologische und Nachhaltige Chemie</i>	
	Esfuerzos y desafíos actuales en el tratamiento y recuperación de energía del suero de queso usando tecnologías electroquímicas microbianas, una forma de alcanzar uno de los ODS	<i>Efforts and current challenges of treatment and energy recovery from cheese whey utilizing microbial electrochemical technologies, a way to reach one of the SDG</i>	
15.	María del Carmen Durán-Domínguez-de-Bazúa,	Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad	301

	<i>DAAD Alumna</i>	de Química, México	
	A nombre de al menos 50 colegas de Alemania, Colombia, Costa Rica, Cuba, Ecuador, El Salvador, México y Panamá	On behalf of at least 50 colleagues of Germany, Colombia, Costa Rica, Cuba, Ecuador, El Salvador, México, and Panamá	
	Gobierno-Sociedad civil-Sector productivo, una alianza necesaria para un desarrollo sustentable económicamente fuerte	<i>Government-Civil Society-Productive Sector, a necessary alliance for an economically strong sustainable development</i>	
16.	Moderadores(as)	<i>Chairpersons</i>	347
	Comentarios finales de los expertos	<i>Final remarks of experts</i>	349
	Declaración de Clausura del Seminario por parte del Sr. Michael Schultheiss, Consejero de Asuntos Científicos y Económicos, Embajada de la República Federal de Alemania	<i>Schlusswort des Seminars von Herrn Michael Schultheiss, Referent für Wissenschaft und Wirtschaft, Botschaft der Bundesrepublik Deutschland</i>	372
		<i>Closing declaration of the Seminar by Mr. Michael Schultheiss, Counselor for Scientific and Economic Affairs of the Embassy of the Federal Republic of Germany in Mexico</i>	
	Anexo	<i>Annex</i>	377
	Breviario cultural: La Ciudad de México. Parte 2	<i>Cultural Breviary: Mexico City. Part 2</i>	
	Índice de autores	<i>Authors' index</i>	391
	Palabras clave	<i>Keywords</i>	395
	Colofón	<i>Colophon</i>	398

## Capítulo 3 / Chapter 3

# El agua dulce y su frontera planetaria

### *Fresh water and its planetary frontier*

Amado Enrique Navarro-Frómeta

Profesor Investigador  
Universidad Tecnológica de Izúcar de Matamoros, México  
Tel. (+52) 243 106 4994  
Correo-e (*e-mail*): navarro4899@gmail.com



Licenciado en Química por la Universidad de la Habana (1971). Doctor en Ciencias Químicas por el Instituto Azerbaidiano de Petróleo y Química M. Azizbekov (1977)  
Investigador Nacional Nivel 1

#### Resumen

Partiendo de algunas cifras de la disponibilidad de agua dulce, sus límites finitos y la clasificación para la evaluación de la huella hídrica del agua en azul, verde y gris se aborda de manera general el concepto de las fronteras planetarias. Se analizan los aspectos positivos y las críticas a la frontera comúnmente aceptada de 4000 km<sup>3</sup> y, considerando los diferentes roles que juega se valora la necesidad de desescalar este concepto para llevarlo a niveles locales y regionales. Se consideran algunos aspectos relativos al uso del agua y sus retos en México. Finalmente, se concluye que es necesario avanzar en la definición de las fronteras a nivel regional y local así como en el mejor aprovechamiento del agua gris y su posible conversión a azul utilizando los sistemas basados en la naturaleza para su tratamiento.

**Palabras clave:** Agua dulce, fronteras planetarias, reducción de escala

## *Abstract*

*Starting from some figures of the availability of freshwater, its finite limits, and the classification for the evaluation of the water footprint of water in blue, green, and gray, the concept of planetary boundaries is addressed in a general way. The positive aspects and criticisms of the commonly accepted boundary of 4000 km<sup>3</sup> are analyzed and, considering the different roles it plays, the need to downscale this concept to take it to local and regional levels is valued. Some aspects related to the use of water and its challenges in Mexico are considered. Finally, it is concluded that it is necessary to advance in the definition of the borders at a regional and local level as well as in the better use of gray water and its possible conversion to blue using systems with nature-based solutions for its treatment.*

*Keywords: Freshwater, planetary boundaries, downscaling*

## **Introducción**

Todos conocemos que el agua es indispensable para la vida, el normal desempeño de los ecosistemas y, por consiguiente, para la subsistencia y desarrollo del ser humano y su sociedad. Precisamente por ello fue reconocida explícitamente como un derecho humano y componente esencial del disfrute de todos demás derechos humanos desde 2010, mediante la resolución 64/292 de la Asamblea General de la Naciones Unidas (ONU, 2010). Este derecho queda refrendado en la Constitución de México en su artículo 4 que, en su párrafo sexto, dice textualmente “Toda persona tiene derecho al acceso, disposición y saneamiento de agua para consumo personal y doméstico en forma suficiente, salubre, aceptable y asequible”. El Estado garantizará este derecho y la ley definirá las bases, apoyos y modalidades para el acceso y uso equitativo y sustentable de los recursos hídricos, estableciendo la participación de la Federación, las entidades federativas y los municipios, así como la participación de la ciudadanía para la consecución de dichos fines” (Cámara de Diputados, 2021). Por ello es objeto de la atención de la Comisión Nacional de los Derechos Humanos (CNDH, 2014). Para garantizarlo, se debe asegurar que el acceso a la misma sea suficiente, saludable, aceptable, físicamente accesible y asequible.

Por otro lado, además de lo relativo a los derechos humanos, la correcta valoración del nexo agua-alimentos-energía es clave para garantizar la sostenibilidad o sustentabilidad del desarrollo. En la actualidad se consideran nuevos indicadores y modelos que permitan armonizar la relación entre el desarrollo socioeconómico,

la disponibilidad de recursos naturales y la mejora continua de las condiciones ambientales (Sun et al., 2022).

Surge entonces la pregunta sobre el valor del agua. Esto ha despertado el interés de los grandes mercaderes que desprecian todo lo que no sea para su beneficio económico y que incluso hablan hoy en día del valor bursátil de la misma. No faltan trabajos que consideran que fijar precios e introducir mercados del agua puede coadyuvar a una mejor gestión y gobernanza del agua, admitiendo la necesidad de una regulación gubernamental (Fazeli et al., 2021). Este criterio mercantilista requiere de una respuesta académica fuera del alcance de este material. Vale la pena entonces hacer énfasis en que el agua no tiene un solo valor, tiene muchos que interactúan integralmente y que la convierten en un bien invaluable para el ser humano. Resulta conveniente leer y analizar el Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos del año 2021 (UN Water, 2021) en el que claramente se señala que para valorar al agua hay que considerar:

- los recursos hídricos desde la perspectiva de los ecosistemas;
- la infraestructura hídrica para el almacenamiento de agua, su uso, su reutilización o el aumento del suministro;
- los servicios hídricos, principalmente el agua potable, el saneamiento y los aspectos relacionados con la salud humana;
- el agua como un aporte a la producción y la actividad socioeconómica, como la alimentación y la agricultura, la energía y la industria, la empresa y el empleo;
- los valores socioculturales del agua, incluidos los atributos recreativos, culturales y espirituales.

Con respecto a la participación de entidades privadas, por consenso, en el año 2018 la Red Temática Gestión de la Calidad y Disponibilidad del Agua, elaboró recomendaciones a las autoridades en las que explícitamente se señaló que no se debe privatizar ni concesionar a particulares el servicio de agua potable a la población ni el servicio de tratamiento de las aguas residuales. Esto no significa que no se pueda licitar una participación transparente de la iniciativa privada en la realización de las obras para garantizar el servicio, pero no concesionar la ejecución misma del servicio. En definitiva son los impuestos de los ciudadanos la fuente financiera para el suministro del agua potable y la ejecución del saneamiento. Tampoco implica que el agua no se cobre. Se necesitan estudios regionales y locales que determinen la cantidad de agua que debe de garantizarse de manera gratuita por habitante. El consumo por encima de esa cantidad debe pagarse progresivamente para evitar el despilfarro (RTGCyDA, 2018).

Lo que es un hecho inobjetable es que, aunque todos hacemos uso de ella, no todos sabemos como se gestiona y además no estamos muy informados sobre cuál es su disponibilidad real a nivel global, regional y local.

Con una población mundial estimada al 2030 de 8300 millones y de 9100 millones en el 2050, es fácil comprender el rol central que ocupa su gestión en el desarrollo sostenible. Los cimientos de esta gestión se ven afectados por los niveles de incertidumbre.

Estos están cambiando como consecuencia de los cambios en las tendencias de la demografía, patrones de consumo, la migración y el cambio climático, lo que resulta en un aumento de niveles de riesgo.

Si se habla de sostenibilidad y desarrollo, el tema del agua es esencial, por ello el decenio 2018-2028 se ha denominado Decenio Internacional del Agua para el Desarrollo Sostenible (Navarro-Frómeta, 2019a).

El presente documento busca difundir y divulgar información para un amplio espectro de lectores y proporcionar algunos elementos y consideraciones sobre dicha disponibilidad.

### **Algunas cifras sobre el agua**

En la Figura 1 se muestran algunas cifras globales sobre el agua de nuestro planeta.

La suma del agua dulce relativamente disponible (resaltada en naranja), arroja un total de 10,665,110 km<sup>3</sup>. Sin embargo la disponibilidad, como era de esperar, está desigualmente repartida en el planeta (Figura 2).

Si se considera, además, la extracción anual por habitante (Figura 3), lo primero que salta a la vista es el carácter finito del recurso, independientemente de que el mismo cumpla un ciclo. Si fijamos la atención en México, se puede observar que se señala que hay estrés hídrico ocasional o local.

Por supuesto que un mapa, a la escala de las Figuras 2 y 3, no muestra la situación de una distribución desigual de los recursos hídricos. La Figura 4 es una imagen ilustrativa de la desigual distribución del agua renovable en México. El balance para 2017 arroja una cantidad total de agua renovable de 451,585 hm<sup>3</sup> año<sup>-1</sup> con una cantidad de 3656 m<sup>3</sup> hab<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> (EAM, 2018).

Fuente de agua	Volumen de agua, en km <sup>3</sup>
Océanos, mares y bahías	1,338,000,000
Casquetes polares, glaciares y nieve permanente	24,064,000
Agua subterránea	23,400,000
Dulce	10,530,000
Salina	12,870,000
La humedad del suelo	16,500
Hielo molido y permafrost	300,000
Lagos	176,400
Dulce	91,000
Salina	85,400
Atmósfera	12,900
Humedales	11,470
Ríos	2,120
Agua biológica	1,120

Figura 1. El agua en la tierra (adaptada de [https://www.usgs.gov/special-topic/water-science-school/science/where-earths-water?qt-science\\_center\\_objects=0#qt-science\\_center\\_objects](https://www.usgs.gov/special-topic/water-science-school/science/where-earths-water?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects))

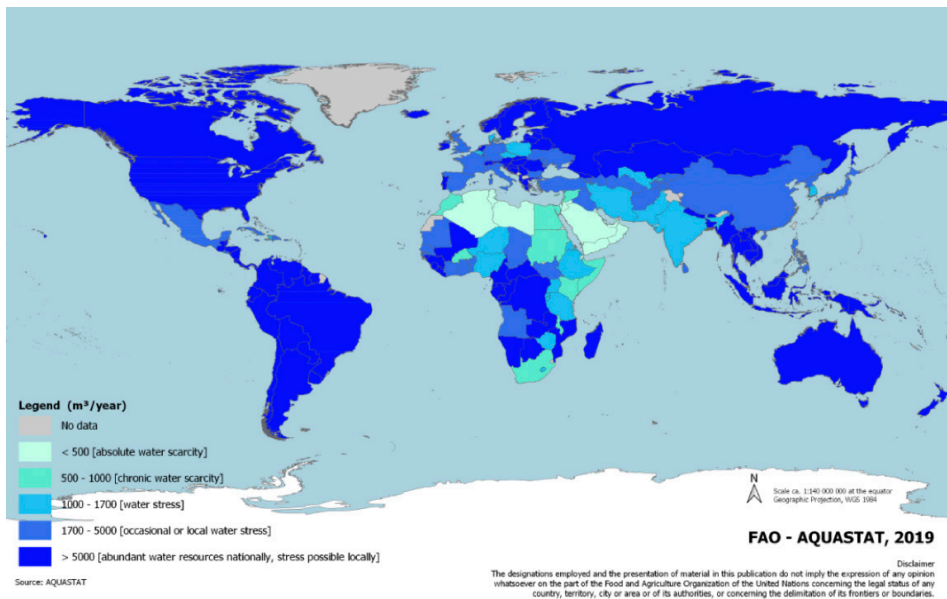


Figura 2. Recursos hídricos totales renovables por habitante en 2017. Adaptada de <http://www.fao.org/aquastat/en/geospatial-information/maps>

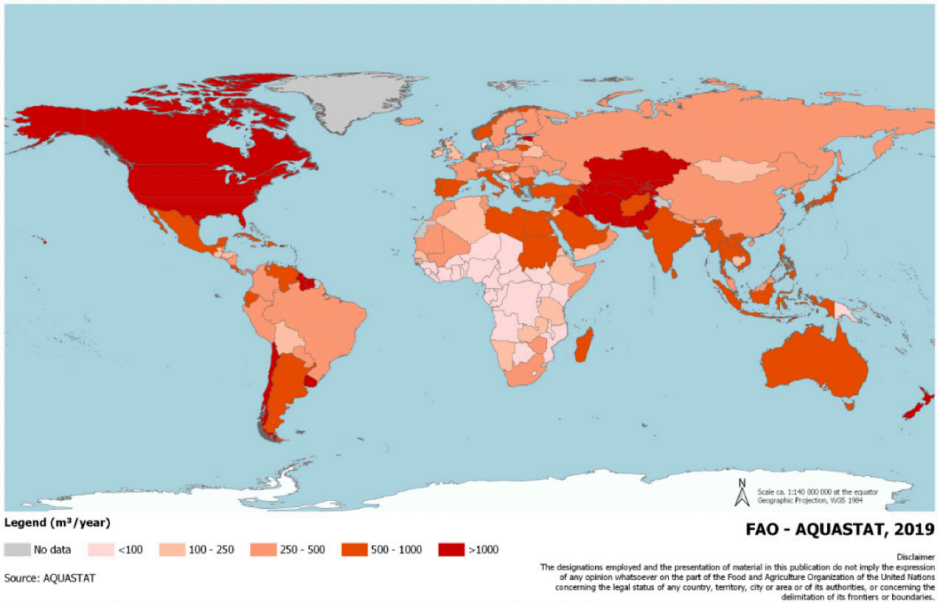


Figura 3. Extracción de agua por habitante (m<sup>3</sup> año<sup>-1</sup>).  
Adaptada de <http://www.fao.org/aquastat/en/geospatial-information/maps>

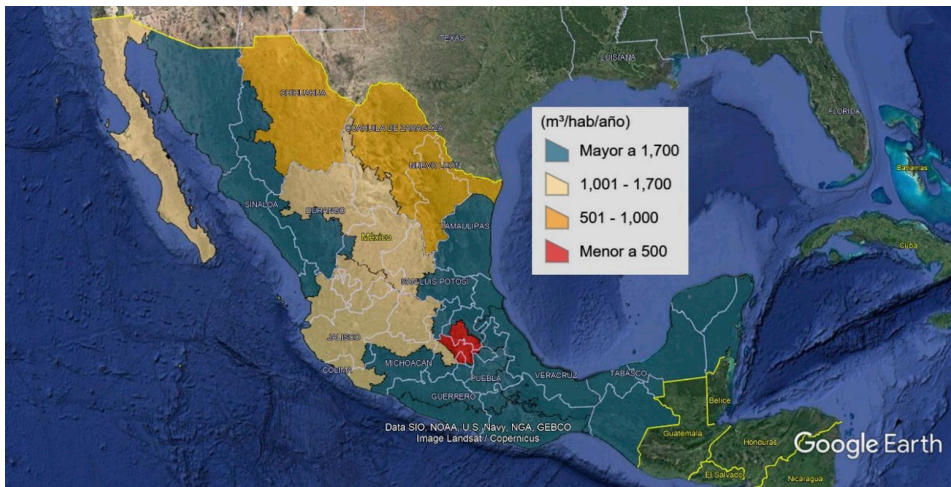


Figura 4. Agua renovable per cápita 2019 (Elaborada en Google Earth Pro con la capa kmz de la página del SINA, <http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=aguaRenovable&ver=mapa>)

## Las fronteras planetarias

Los límites planetarios son un concepto que involucra a los procesos del sistema de la Tierra que contienen límites ambientales, propuestos en 2009 por un grupo de científicos encabezados por Johan Rockström del Stockholm Resilience Center y Will Steffen de la Australian National University. El grupo quería definir un “espacio operativo seguro para la humanidad” para la comunidad internacional, incluidos los gobiernos de todos los niveles, las organizaciones internacionales, la sociedad civil, la comunidad científica y el sector privado, como una condición previa para el desarrollo sostenible. El marco se basa en evidencia científica de que las acciones humanas desde la Revolución Industrial se han convertido en el principal impulsor del cambio ambiental global (Rockström et al., 2009). Una representación gráfica de las fronteras y la situación de estas se muestra en la Figura 5.

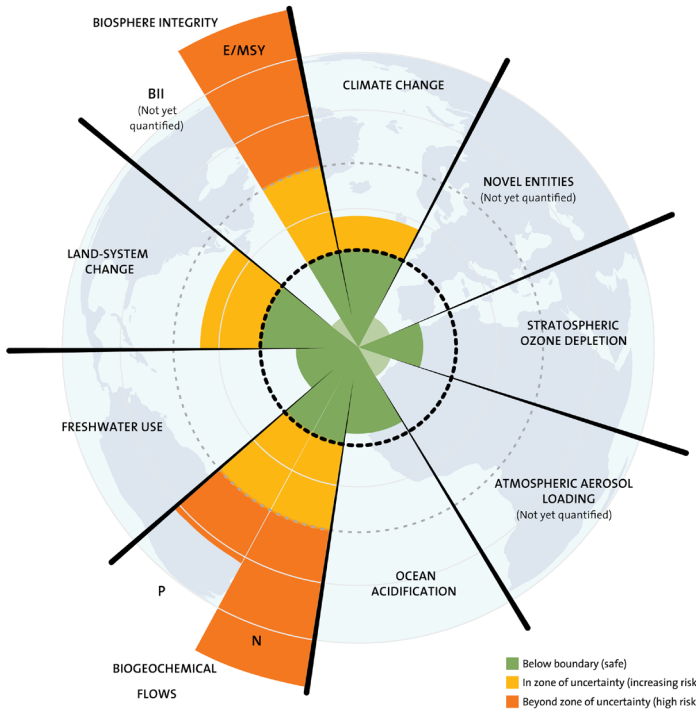


Figura 5. Las fronteras planetarias [Reproducción autorizada (<https://www.stockholmresilience.org/research/planetary-boundaries.html>): J. Lokrantz/Azote based on Steffen et al., 2015)

Las fronteras se establecen con base en variables de control determinadas, como se muestra en la Figura 6. Algunos son procesos sistémicos a escala planetaria y tienen umbrales al nivel global, como el cambio climático, la acidificación del océano y el ozono estratosférico, que también operan a escala regional. Esto quiere decir que no hay límites espaciales para estos procesos. Otros no tienen umbrales conocidos a escala global porque los procesos son agregados a escala regional o local, como los ciclos de N y P, la carga de aerosoles en la atmósfera, el uso del agua dulce, el cambio de uso de la tierra, la pérdida de biodiversidad y la contaminación química; los dos últimos son los de ocurrencia esencialmente local (Mateucci, 2018).

Proceso del sistema de la Tierra	Variable de control	Valor límite actual	Valor límite cruzado	Valor preindustrial
1. Cambio climático	Concentración de dióxido de carbono en la atmósfera (ppm en volumen)	350 400	sí	280
	Alternativamente: aumento en el forzamiento radiativo ( $W / m^2$ ) desde el inicio de la revolución industrial (~ 1750)	1.0 1.5	sí	0
2. Pérdida de biodiversidad	Tasa de extinción (número de especies por millón por año)	10 > 100	sí	0.1-1
3. Biogeoquímico	(a) nitrógeno antropogénico emitido a la atmósfera (millones de toneladas por año)	35 121	sí	0
	(b) fósforo antropogénico que ingresa a los océanos (millones de toneladas por año)	11 8.5-9.5	no	-1
4. acidificación de los océanos	Estado de saturación media global de aragonita en agua de mar superficial (unidades omega)	2.75 2.90	no	3.44
5. Uso de la tierra	Superficie de tierra convertida en tierras de cultivo (porcentaje)	15 11.7	no	bajo
6. Agua dulce	Consumo humano mundial de agua (km <sup>3</sup> / año)	4000 2600	no	415
7. Agotamiento de la capa de ozono	Concentración de ozono estratosférico (unidades Dobson)	276 283	no	290
8. Carga de aerosol atmosférico	Emissiones de aerosoles	aún no cuantificado		
9. Contaminación química	Concentración de sustancias tóxicas, plásticos, disruptores endocrinos, metales pesados y contaminación radioactiva en el medio ambiente	aún no cuantificado		

Figura 6. Los límites planetarios y sus variables de control (adaptada de Matteucci, 2018)

Aunque este esquema tiene sus fortalezas, pues puede implicar determinadas pautas para la gestión de la dirección de los cambios, la globalidad de sus variables hace difícil su manejo. La interdependencia de las fronteras hace que la noción de un solo límite sea muy simplista. Las fronteras planetarias no son seguras. La gestión basada en umbrales, aunque atractiva por su simplicidad, supone el riesgo de continuar, por ejemplo, en lo referente a la contaminación química, hasta un punto en el que ya sea demasiado tarde para revertir el daño. No obstante, ha estimulado el estudio de los límites de la actividad extractiva y depredadora en el Antropoceno. Por ello se trabaja en bajar a menor escala sus valores y lograr una mejor definición, “pensando globalmente y actuando localmente”, conciliando este concepto con el de la democracia ecológica que a su vez es compatible con la toma

de decisiones democráticas en el ámbito de la gobernanza ambiental (Biermann y Kim, 2020; Hachaichi y Baouni, 2020; Pickering y Persson, 2020).

### Las fronteras planetarias del agua dulce

La frontera planetaria del agua dulce también ha sido criticada como una medida singular que no refleja todos los tipos de interferencia humana con el complejo ciclo global de la misma y el sistema terrestre. De hecho, la frontera fijada de 4000 km<sup>3</sup> se considera muy generosa (Navarro-Frómata, 2019a). Por ello se ha planteado la necesidad de rediseñarla para considerar cómo el clima y los ecosistemas reaccionan a las diferentes formas del agua. Se debe considerar además que estas formas tienen diversas maneras de manifestarse en las distintas funciones del agua, como se muestra en la Figura 7. Por consiguiente, para cuantificar la frontera planetaria del agua es necesario considerar su interacción con las demás variables. Esto conlleva a que es necesario considerar subfronteras (Gleeson et al., 2020; Wang-Erlandsson et al., 2020). Por otro lado, habida cuenta de la distribución desigual del agua en el planeta, es necesario reducir la escala de las fronteras a nivel regional y local. Esto implica que hay que considerar otras variables de control cuando se quiera llegar a esta escala. Por ejemplo, si se quiere saber cuánta agua se puede extraer de un río, una variable de control a considerar puede ser el caudal ecológico (Bunsen et al., 2021).

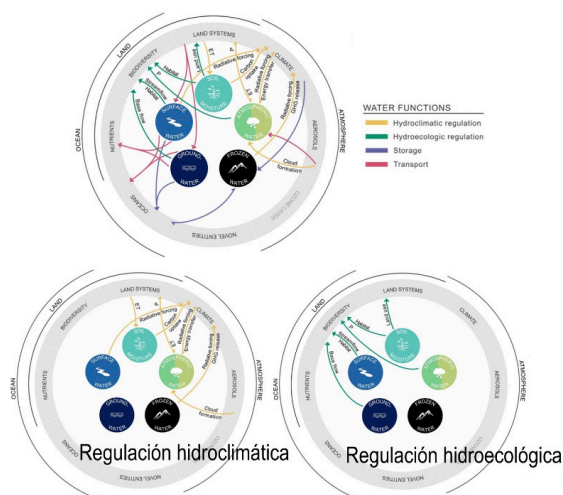


Figura 7. Las funciones de las distintas formas del agua dulce (adaptada de Wang-Erlandsson et al., 2020)

Entonces, hay mucho que hacer para definir las fronteras del agua dulce a una escala que opere a nivel regional y local. Es necesario considerar además

no solamente que el sistema bajo estudio pase de una operación segura a posiblemente una operación inestable al cambiar la variable de control. Hay que considerar, además, la tolerancia social al riesgo que se corre al llegar a esa operación inestable. Este espacio operativo local se centra en el sistema de agua local sin una relación explícita con la estabilidad del sistema terrestre, aunque influya en él (Zipper et al., 2020). Por ejemplo, evaluar el impacto de la gestión de las aguas urbanas en los límites planetarios, requiere considerar cambios de paradigma en los procesos involucrados para disminuir la emisión de gases de efecto invernadero (GEI), como se ha considerado para la gestión del ciclo urbano del agua en Dinamarca (Sørup et al., 2020). Otro aspecto importante al cual hay que prestar atención es a la actividad industrial por el papel que ha desempeñado en la desestabilización del equilibrio ecológico a nivel local y global. Muchas veces se aduce como una consideración de máxima importancia los empleos que se crean a nivel local por una industria, aspecto que no deja de ser importante, pero que tiene que ser considerado con un enfoque precautorio al elaborar el balance en la sostenibilidad del uso del agua al nivel que se quiera. Esta aproximación integral requiere de métodos que permitan evaluar el impacto de estas actividades productivas (incluyendo los servicios de agua potable y saneamiento) en la estabilidad ecológica del uso del agua (Ryberg et al., 2020, 2021). Considerando la reducción de escala al nivel local, es necesario destacar el papel del conocimiento local y ancestral, de las comunidades que se asientan en el territorio. Su correcta utilización requiere de un diálogo de saberes entre la academia, los tomadores de decisiones o agentes gubernamentales con la población local sin un enfoque paternalista o supremacista en cuanto a los conocimientos.

### **Fronteras del agua dulce y contaminación**

Si los seres humanos no alteraran la composición del agua al emplearla para los diferentes usos consuntivos de la misma, el ciclo del agua restauraría mucha del agua que se extrae y la cuestión de las fronteras, prácticamente se reduciría a considerar el crecimiento poblacional. Sin embargo, la huella hídrica de las actividades humanas debe considerar la contaminación, no solamente la que ocasiona el ser humano por su actividad biológica sino también porque crea y transforma una gran cantidad de sustancias químicas que se pueden considerar compuestos xenobióticos. Por ello se consideran tres tipos de agua: Azul, verde y gris (Figura 8).

Es pertinente mencionar que al agua verde no siempre se le presta la atención necesaria, pese a que ronda los 17,000 km<sup>3</sup> (Figura 1). Es preciso aplicar en mayor medida las prácticas agroecológicas que ayudan a su conservación.



**HH verde:** Agua que no llega a recargar las masas superficiales o subterráneas, sino que se almacena en la parte superior del suelo o en la vegetación, mediante la cual se evaporan o transpiran



**HH azul:** Agua que se almacena en masas de agua superficiales o subterráneas. Se refiere al volumen de agua consumida de estas fuentes para incorporarla o utilizarla en alguno de los puntos de la cadena de producción de cualquier producto



**HH gris:** Volumen de agua dulce requerido para asimilar la carga contaminante y devolver una masa de agua a las condiciones de calidad y características naturales del lugar en que se encuentre

**Figura 8.** Clasificación del agua para los fines de evaluación de la huella hídrica (tomada de: <https://www.iagua.es/sites/default/files/images/medium/hh.jpg>)

Analizando el agua gris, un aspecto al que hay que prestar atención es a los contaminantes de preocupación emergente o microcontaminantes orgánicos cuyo vertido ha ido transformando las aguas municipales en consorcios de productos químicos de la más variada índole, cuyo tratamiento en las plantas convencionales en muchas ocasiones no es ni eficiente ni efectivo. La presencia de estos contaminantes en las aguas superficiales y subterráneas de México es ubicua y debe comenzar a ser regulada (Navarro-Frómata, 2019b). Por otro lado, la disponibilidad de agua azul puede incrementarse si se deja de considerar el agua residual como una amenaza y se empieza a utilizarla, con el tratamiento adecuado en actividades para las cuales son aptas, disminuyendo la presión sobre el agua azul (Navarro-Frómata, 2021). Aquí surge además lo relativo al aprovechamiento de los sistemas basados en la naturaleza para la gestión del agua (WWAP/UN-Water, 2018). Entre estos sistemas, es destacable la utilización de los humedales de tratamiento (también denominados construidos o artificiales), de especial interés para la gestión local de las aguas residuales por sus bajos costos de operación y mantenimiento (Durán-Domínguez-de-Bazúa et al., 2018).

Al considerar los aspectos relativos a las aguas residuales, la vida ha enseñado que los contaminantes a tomar en cuenta varían constantemente lo que implica que hay que evaluar constantemente el desempeño de los sistemas de tratamiento para su remoción. Un ejemplo claro lo constituye el SARS-CoV-2. Surge la pregunta ¿Se elimina o inactiva en las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR)? Si el tratamiento, especialmente la desinfección, se lleva a cabo adecuadamente, se ha observado, por ejemplo, en tres PTAR de Milán, Italia, que no se detecta ARN en las aguas residuales. En ríos, posiblemente por tratamiento deficiente se detectó el ARN, pero con nula infectividad. Se ha propuesto la combinación de métodos de desinfección para una remoción eficaz del virus. Debe seguirse el principio precautorio, por lo incipiente de la investigación. De hecho, hay evidencia de detección del virus en aguas residuales hospitalarias después del tratamiento de estas. En los países con bajos ingresos y déficit en el saneamiento esto es un aspecto para atender (Adelodun et al., 2020; IWA, 2020; Rimoldi et al., 2020; Zhang et al., 2020).

Es evidente que el marco regulatorio es de vital importancia para mejorar la calidad de las aguas naturales de México. En este sentido es de destacar la reciente modificación de la NOM-001 sobre las descargas de aguas residuales que no se actualizaba desde 1996. La Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-2021, tiene por objeto proteger y conservar las aguas y bienes nacionales, mediante el establecimiento de nuevos límites permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales, la inclusión de parámetros que caracterizan mejor la contaminación en las aguas residuales como demanda química de oxígeno, toxicidad y color para controlar contaminantes no biodegradables, se actualizan las normas de referencia y se incluye un procedimiento de evaluación de la conformidad, entre otros cambios (SEMARNAT, 2021). En las Figuras 9 y 10 se muestran las Tablas 1 y 2 del Proyecto de norma, dado que, al momento de redactar este trabajo, aún no se publica en el Diario Oficial de la Federación. Nótese que se estipulan los valores permisibles de promedio mensual, promedio diario y valor instantáneo, así como se modifica la clasificación de cuerpos receptores.

Una faceta de los estudios tendientes a evaluar las fronteras a nivel local o regional del agua dulce que debe ser considerada, es la necesidad de profundizar en el dominio de la herramientas para modelar y evaluar los flujos del agua en sus ciclos hidrológicos como WEAP (Water Evaluation And Planning, versión de 2021 disponible en <https://www.weap21.org/>) y SWAT+ (Soil and Water Assessment Tool, disponible en <https://swatplus.gitbook.io/docs/installation>).

# El agua y el Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024

Aunque no es crítico el desbalance, en México se extrae más agua que la que se devuelve al ambiente. Asimismo, el país enfrenta pérdidas económicas significativas por el agotamiento del agua subterránea y la contaminación del agua. Ambos aspectos se ilustran en la Figura 11.

Parámetros (*) (miligramos por litro, excepto cuando se especifique)	Ríos, arroyos, canales, drenes			Embalses, lagos y lagunas			Zonas marinas mexicanas			Suelo								
										Riego de áreas verdes			Infiltración y otros riegos			Clásico		
	P.M.	P.D.	V.I.	P.M.	P.D.	V.I.	P.M.	P.D.	V.I.	P.M.	P.D.	V.I.	P.M.	P.D.	V.I.	P.M.	P.D.	V.I.
Temperatura (°C)	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35
Grasas y Aceites	15	18	21	15	18	21	15	18	21	15	18	21	15	18	21	15	18	21
Sólidos Suspendedos Totales	60	72	84	20	24	28	20	24	28	30	36	42	100	120	140	20	24	28
Demanda Química de Oxígeno	150	180	210	100	120	140	85	100	120	60	72	84	150	180	210	60	72	84
Carbono Orgánico Total*	35	45	53	25	30	35	21	25	30	15	18	21	38	45	53	15	18	21
Nitrógeno Total	28	30	35	15	25	30	25	30	35	NA	NA	NA	NA	NA	NA	15	25	30
Fósforo Total	15	18	21	5	10	15	15	18	21	NA	NA	NA	NA	NA	NA	5	10	15
Huevos de Helmintos (huevo/litro)	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	1								
Escherichia coli (NMP/100 ml)	250	500	600	250	500	600	250	500	600	250	500	600	250	500	600	50	100	200
Enterococos fecales* (NMP/100 ml)	250	400	500	250	400	500	250	400	500	250	400	500	250	400	500	50	100	200
pH	6 - 9																	
(UpH)																		
Color verdadero	Longitud de onda									Coeficiente de absorción espectral máximo								
	436 nm									7,0 m <sup>-1</sup>								
	320 nm									5,0 m <sup>-1</sup>								
Toxicidad aguda (UT)	250 nm									3,0 m <sup>-1</sup>								
	2 a los 15 minutos de exposición																	

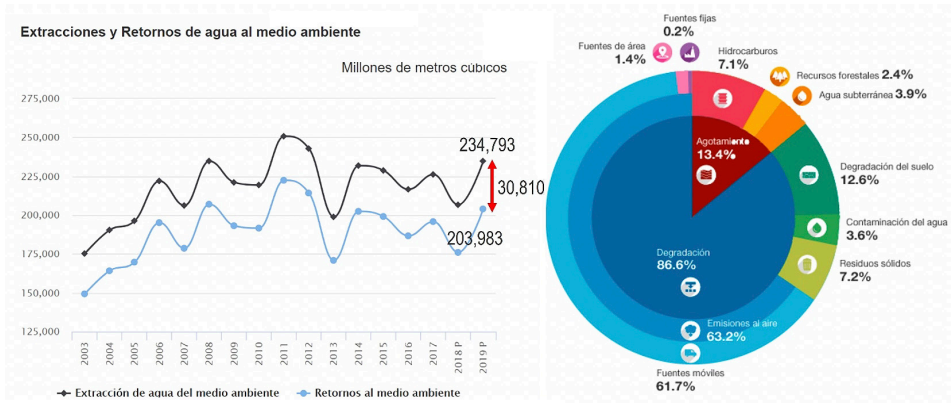
NA: No Aplica  
 P.M.: Promedio Mensual  
 P.D.: Promedio Diario  
 V.I.: Valor Instantáneo  
 NMP: Número más probable  
 Upl: Unidades de pH  
 UT: Unidades de Toxicidad  
 \* Si Cloruros es menor a 1000 mg/L se analiza y reporta DQO.  
 \* Si Cloruros es mayor o igual a 1000 mg/L se analiza y reporta COT.  
 \* Si la conductividad eléctrica menor a 3000 µS/cm se analiza y reporta E. coli.  
 \* Si la conductividad eléctrica es mayor o igual a 3000 µS/cm se analiza y reporta Enterococos fecales.  
 Las determinaciones de Conductividad eléctrica y de Cloruros no requieren la acreditación y aprobación de la entidad correspondiente.

Figura 9. Tabla 1 del Proyecto de Norma (SEMARNAT, 2021)

Parámetros (miligramos por litro)	Ríos, arroyos, canales, drenes			Embalses, lagos y lagunas			Zonas marinas mexicanas			Suelo								
										Riego de áreas verdes			Infiltración y otros riegos			Clásico		
	P.M.	P.D.	V.I.	P.M.	P.D.	V.I.	P.M.	P.D.	V.I.	P.M.	P.D.	V.I.	P.M.	P.D.	V.I.	P.M.	P.D.	V.I.
Améxico	0,2	0,3	0,4	0,1	0,15	0,2	0,2	0,3	0,4	0,2	0,3	0,4	0,1	0,15	0,2	0,1	0,15	0,2
Cadmeo	0,2	0,3	0,4	0,1	0,15	0,2	0,2	0,3	0,4	0,05	0,075	0,1	0,1	0,15	0,2	0,05	0,075	0,1
Cianuro	1	2	3	1	1,5	2	2	2,50	3	2	2,5	3	1	1,50	2	1	1,5	2
Cóbre	4	5	6	4	5	6	4	5	6	4	5	6	4	5	6	4	5	6
Cromo	1	1,25	1,5	0,5	0,75	1	1	1,25	1,5	0,5	0,75	1	0,5	0,75	1	0,5	0,75	1
Mercuro	0,01	0,015	0,02	0,005	0,008	0,01	0,01	0,015	0,02	0,005	0,008	0,01	0,005	0,008	0,01	0,005	0,008	0,01
Níquel	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4
Plomo	0,2	0,3	0,4	0,2	0,3	0,4	0,5	0,75	1	0,5	0,75	1	0,2	0,3	0,4	0,2	0,3	0,4
Zinc	10	15	20	10	15	20	10	15	20	10	15	20	10	15	20	10	15	20

P.M.: Promedio Mensual  
 P.D.: Promedio Diario  
 V.I.: Valor Instantáneo

Figura 10. Tabla 2 del Proyecto de Norma



**Figura 11.** Algunos problemas del agua en México (con base en los datos disponibles en <https://inegi.org.mx/temas/ee/>)

En la Figura 11 se muestra la diferencia entre las extracciones y el retorno de agua al ambiente, así como la estructura de los costos ambientales por degradación y agotamiento. Los porcentajes correspondientes al agua significan un 7.5% del total de 1,096,000 millones de pesos mexicanos, MPM, o sea, más de 82,000 MPM, una cifra realmente preocupante y que muestra el tremendo esfuerzo que debe realizar el país para revertir o paliar esta situación del agotamiento y el deterioro de los recursos hídricos.

México tiene una meta ambiciosa con respecto al agua renovable y la presión sobre el recurso hídrico, plasmada en el Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024 y que se resume en la Figura 12. Esto corresponde al Objetivo prioritario 3: Promover al agua como pilar de bienestar, manejada por instituciones transparentes, confiables, eficientes y eficaces que velen por un ambiente sano y donde una sociedad participativa se involucre en su gestión. Aquí, esta sociedad participativa con las autoridades gubernamentales de los tres niveles deben actuar conjuntamente con los sectores productivos de bienes y servicios para modificar la Ley de Aguas Nacionales y los Reglamentos y Normas para armonizarlos con este Objetivo prioritario 3 y poder cumplir con la Carta Magna mencionada en el primer párrafo de este capítulo, su artículo 4 en su párrafo sexto: “Toda persona tiene derecho al acceso, disposición y saneamiento de agua para consumo personal y doméstico en forma suficiente, salubre, aceptable y asequible”.

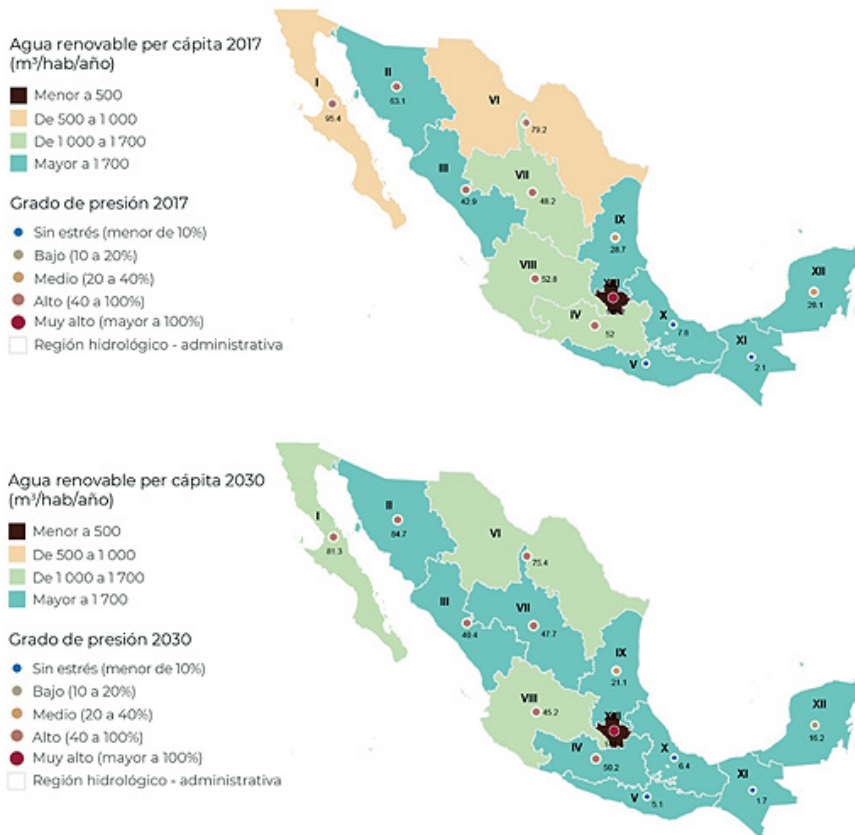


Figura 12. Metas a 2030 con respecto al agua renovable y el grado de presión sobre el recurso (adaptada de [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5596232&fecha=07/07/2020](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5596232&fecha=07/07/2020)).

### Algunas reflexiones finales

- Es necesario avanzar en la definición de los límites o fronteras del uso del agua a pequeña escala (ciudad, cuenca, microcuenca, etc.).
- Otro aspecto importante que se debe atender es la recuperación del agua gris para convertirla en agua verde o azul. Asimismo, debe educarse a todos, niños, jóvenes, adultos y adultos mayores, sobre la importancia del uso racional y seguro del agua y de tratar el agua residual de acuerdo con su ulterior aplicación.
- El agua no debe ser una mercancía, su valor reside en las múltiples funciones que cumple para la vida y la sociedad.

- Otra dirección importante para el garantizar la disponibilidad de agua es profundizar en los sistemas basados en la naturaleza (SBN) para el tratamiento de las aguas residuales. Esto no implica desdeñar o no considerar a otras tecnologías para este fin. Independientemente de que se consideren más extensivos que los basados en las tecnologías fisicoquímicas, son muy resilientes y a la larga menos costosos.
- Es destacable la importancia de la genómica y en general de la biotecnología para entender y potenciar los mecanismos de la remoción de los contaminantes en los SBN. Esto implica también la recuperación de la capacidad de depuración de los ecosistemas mediante la ayuda con la remoción asistida, bajo estrictos protocolos de bioseguridad y utilizando de preferencia los microorganismos autóctonos, para restaurar y regenerar sus capacidades.
- Se requiere incrementar la tecnificación del riego y la extensión de las prácticas agroecológicas que utilicen de manera más racional el agua en la agricultura, pues el mayor uso consuntivo del agua es precisamente en el riego agrícola para la producción de alimentos.
- Hay que insistir y educar en el uso adecuado de los productos del hogar y otras sustancias químicas que manejamos en nuestra vida diaria a fin de reducir el impacto de las mismas en el agua residual doméstica.
- Partiendo de la noción de la ruptura metabólica con la naturaleza, originada en el curso histórico de un modelo de desarrollo basado en la inequidad, es evidente que se requiere también de una propiedad y de una gestión más social de las áreas que garantizan la salud de nuestros ecosistemas en general y también del agua en particular. ¿Qué cambios socioeconómicos y sobre todo de la mentalidad de nuestra gente se requieren para ello? La pregunta queda abierta.

Finalmente es necesario recalcar los siguientes aspectos: El agua es un derecho humano y constitucional. Hay intentos de convertirla en una mercancía y privatizarla y eso hay que frenarlo. Es una lucha de todos. Las comunidades de campesinos y pueblos originarios juegan un papel decisivo en esta lucha, así como los habitantes de las megaciudades.

## Referencias

Adelodun, B., Ajibade, F.O., Ibrahim, R.G., Bakare, H.O., Choi, K.-S. 2020. Snowballing transmission of COVID-19 (SARS-CoV-2) through wastewater: Any sustainable preventive measures to curtail the scourge in low-income countries? *Science of The Total Environment*. 742: 140680. doi:10.1016/j.scitotenv.2020.140680, en línea 2/07/2020.

- Biermann, F., Kim, R.E. 2020. The boundaries of the planetary boundary framework: A critical appraisal of approaches to define a “Safe Operating Space” for humanity. *Annual Review of Environment and Resources*. 45(1):497-521. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-012320-080337>.
- Bunsen, J., Berger, M., Finkbeiner, M. 2021. Planetary boundaries for water – A review. *Ecological Indicators*. 121: 107022. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107022>.
- Cámara de Diputados 2021. Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos. Última reforma DOF 28-05-2021. Disponible en: [http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/1\\_280521.pdf](http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/1_280521.pdf).
- CNDH. 2014. El Derecho Humano al agua potable y saneamiento. Primera edición: Diciembre, 2014. ISBN: 978-607-729-084-1.
- Durán-Domínguez-de-Bazúa, María del Carmen; Navarro-Frómata, Amado Enrique; Bayona, Josep M. Eds. 2018. *Artificial or Constructed Wetlands: A Suitable Technology for Sustainable Water Management*. CRC Press. ISBN 10: 1138739189 / ISBN 13: 9781138739185.
- EAM. 2018. Estadísticas del agua en México, edición 2018. Comisión Nacional del Agua. Ciudad de México, México. [http://sina.conagua.gob.mx/publicaciones/EAM\\_2018.pdf](http://sina.conagua.gob.mx/publicaciones/EAM_2018.pdf)
- Fazeli, S., Bozorg-Haddad, O., Budds, J., Berrens, R.P. 2021. 4 - Water markets. In *Economical, Political, and Social Issues in Water Resources*. Bozorg-Haddad, O., editor. Pp. 61-83. Elsevier, ISBN 9780323905671. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90567-1.00003-6>.
- Gleeson, T., Wang-Erlandsson, L., Zipper, S.C., Porkka, M., Jaramillo, F., Gerten, D., Fetzer, I., Cornell, S.E., Piomontese, L., Gordon, L.J., Rockström, J., Oki, T., Sivapalan, M., Wada, Y., Brauman, K.A., Flörke, M., Bierkens, M.F.P., Lehner, B., Famiglietti, J.S. 2020. The water planetary boundary: Interrogation and revision. *One Earth*. 2(3):223-234. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2020.02.009>.
- Hachaichi, M., Baouni, T. 2020. Downscaling the planetary boundaries (Pbs) framework to city scale-level: De-risking MENA region’s environment future. *Environmental and Sustainability Indicators*. 5: 100023. <https://doi.org/10.1016/j.indic.2020.100023>.
- IWA. 2020. COVID-19 and Safe Water Treatment – Utilities Are In The Focus. <https://iwa-network.org/covid-19-and-safe-water-treatment-utilities-are-in-the-focus/> abril 2020.
- Matteucci, S.D. 2018. Límites planetarios y ley de bosques. Universidad de Buenos Aires. Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo. Grupo de Ecología del Paisaje y Medio Ambiente. *Fronteras*. 16(16): 1-5.

- Navarro-Frómata, A.E. 2019a. Apuntes de una reflexión sobre el agua, su gestión y su gobernanza. *Revista Latinoamericana el Ambiente y las Ciencias* 10(24): 1-21. [http://cmas.siu.buap.mx/portal\\_pprd/work/sites/rllac/resources/LocalContent/135/1/10\(25\)-1.pdf](http://cmas.siu.buap.mx/portal_pprd/work/sites/rllac/resources/LocalContent/135/1/10(25)-1.pdf).
- Navarro-Frómata A.E., 2019b. Consideraciones sobre el estudio de los microcontaminantes orgánicos en México. En *Memorias del Noveno Minisimposio Internacional sobre Remoción de Contaminantes de Aguas, Atmósfera y Suelos*. Garrido-Mora, A., Durán-Domínguez-de-Bazúa, M.d.C., Eds. Pp. 143-152. ISBN en trámite, INDAUTOR. Villahermosa, Tabasco, México. Septiembre 30, 2019. <https://ambiental.unam.mx/albunimagenes/Libro-e-Book%202019%20IX%20MSI-9th%20IMS.pdf>
- Navarro-Frómata, A.E. 2021. Algunas consideraciones sobre el uso del agua residual para el riego agrícola. *Memorias del Foro “El uso adecuado del agua residual y otras medidas para mitigar la escasez de agua en tiempo de sequía”*, pp. 4-9. Julio de 2021. Disponible en: [https://www.aguanet.com.mx/foro21/Memorias\\_Foro\\_2021\\_p.pdf](https://www.aguanet.com.mx/foro21/Memorias_Foro_2021_p.pdf).
- ONU, 2010. A/RES/64/292. Resolución aprobada por la Asamblea General 64/292, 3 de agosto de 2010, Sexagésimo cuarto período de sesiones. El derecho humano al agua y el saneamiento. <https://www.refworld.org/cgi-bin/texis/vtx/rwmain/opendocpdf.pdf?reldoc=y&docid=4cc9270b2>.
- Pickering, J., Persson, Å. 2020. Democratising planetary boundaries: Experts, social values and deliberative risk evaluation in Earth system governance. *Journal of Environmental Policy & Planning*. 22(1): 59-71. DOI: 10.1080/1523908X.2019.1661233.
- Rimoldi, S.G., Stefani, F., Gigantiello, A., Polesello, S., Comandatore, F., Mileto, D., Salerno, F. 2020. Presence and infectivity of SARS-CoV-2 virus in wastewaters and rivers. *Science of The Total Environment*. 744: 140911. doi:10.1016/j.scitotenv.2020.140911.
- Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin, F.S. III, Lambin, E., Lenton, T.M., Scheffer, M., Folke, C., Schellnhuber, H., Nykvist, B., DeWit, C.A., Hughes, T., van-der-Leeuw, S., Rodhe, H., Sorlin, S., Snyder, P.K., Costanza, R., Svedin, U., Falkenmark, M., Karlberg, L., Corell, R.W., Fabry, V.J., Hansen, J., Walker, B., Liverman, D., Richardson, K., Crutzen, P., Foley, J. 2009. Planetary boundaries: Exploring the safe operating space for humanity. *Ecology and Society*. 14(2): 32. <http://www.ecologyandsociety.org/vol14/iss2/art32/>.
- RTGCyDA. 2018. Propuestas de la Red Temática Gestión de la Calidad y Disponibilidad del Agua. <http://aguanet.com.mx/informe/27Propuestas%20Autoridades.pdf>
- Ryberg, M.W., Andersen, M., Owsianiak, M., Hauschild, M.Z. 2020. Downscaling the planetary boundaries in absolute environmental sustainability assessments –

- A review. *Journal of Cleaner Production*. 276: 123287. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123287>.
- Ryberg, M.W., Bjerre, T.K., Nielsen, P.H., Hauschild, M. 2021. Absolute environmental sustainability assessment of a Danish utility company relative to the Planetary Boundaries. *J. Ind. Ecol.* 25: 765-777. <https://doi.org/10.1111/jiec.13075>.
- SEMARNAT. 2021. Anteproyecto de Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-2021, que establece los límites permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en cuerpos receptores propiedad de la nación. <https://cofemersimir.gob.mx/portales/resumen/49271>.
- Sørup, H.J.D., Brudler, S., Godskesen, B., Dong, Y., Lerer, S.M., Rygaard, M., Arnbjerg-Nielsen, K. 2020. Urban water management: Can UN SDG 6 be met within the Planetary Boundaries? *Environmental Science & Policy*. 106: 36-39. doi:10.1016/j.envsci.2020.01.015.
- Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., Cornell, S.E., Fetzer, I., Bennett, E.M., Biggs, R., Carpenter, S.R., de-Vries, W., de-Wit, C.A., Folke, C., Gerten, D., Heinke, J., Mace, G.M., Persson, L.M., Ramanathan, V., Reyers, B., Sörlin, S. 2015. Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science*. 347(6223): 1259855. <https://www.science.org/lookup/doi/10.1126/science.1259855>
- Sun, X., Zhu, B., Zhang, S., Zeng, H., Li, K., Wang, B., Dong, Z., Zhou, Ch. 2022. New indices system for quantifying the nexus between economic-social development, natural resources consumption, and environmental pollution in China during 1978–2018. *Science of The Total Environment*. 804: 150180. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150180>.
- UN Water. 2021. United Nations, The United Nations World Water Development Report 2021: Valuing Water. UNESCO, Paris. <https://www.unwater.org/publications/un-world-water-development-report-2021/>.
- Wang-Erlandsson, L., Gleeson, T., Jaramillo, F., Zipper, S.C., Gerten, D., Tobian, A., Porkka, M., Dahlmann, H., Pranindita, A., van-der-Ent, R., Keys, P., Fetzer, I., Kummu, M., Chrysafi, A., Steffen, W., Savenije, H., Taniguchi, M., Gordon, L., Cornell, S., Staal, A., Wada, Y., Falkenmark, M., Rockström, J. 2020. Towards a quantification of the water planetary boundary. In EGU General Assembly 2020, European Geosciences Union. May 4–8, 2020. [https://presentations.copernicus.org/EGU2020/EGU2020-20525\\_presentation.pdf](https://presentations.copernicus.org/EGU2020/EGU2020-20525_presentation.pdf)
- WWAP/UN-Water. 2018. The United Nations World Water Development Report 2018: Nature-Based Solutions for Water. United Nations World Water Assessment Programme, UNESCO. Paris, Francia. <https://www.unwater.org/publications/world-water-development-report-2018/>

- Zhang, D., Ling, H., Huang, X., Li, J., Li, W., Yi, C., Zhang, T., Jiang, Y., He, Y., Deng, S., Zhang, X., Wang, X., Liu, Y., Li, G., Qu, J. 2020. Potential spreading risks and disinfection challenges of medical wastewater by the presence of Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2 (SARS-CoV-2) viral RNA in septic tanks of Fangcang Hospital. *Science of The Total Environment*. 741: 140445. doi:10.1016/j.scitotenv.2020.140445.
- Zipper, S.C., Jaramillo, F., Wang-Erlandsson, L., Cornell, S.E., Gleeson, T., Porkka, M., Häyhä, T., Crépin, A.-S., Fetzer, I., Gerten, D., Hoff, H., Matthews, N., Ricaurte-Villota, C., Kummu, M., Wada, Y., Gordon, L. 2020. Integrating the water planetary boundary with water management from local to global scales. *Earth's Future*. 8(2):e2019EF001377. <https://doi.org/10.1029/2019EF001377>.