



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Innovación en Tecnologías para la
Adaptación al Cambio Climático como
Herramienta para la Búsqueda de
Bienestar en México**

TESIS

Que para obtener el título de
Ingeniero Mecánico

P R E S E N T A

Ariel Goldin Marcovich

DIRECTOR DE TESIS

Dr. Jesús Antonio del Río Portilla



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2019

Sinodales

Dr. Luis Agustín Álvarez Icaza, Director del Instituto de Ingeniería

Dr. Constantino de Jesús Macías García, Director del Instituto de Ecología

Dra. Karla Cedano Villavicencio, Coordinadora del Centro de Innovación de Energía Solar

Dr. Leopoldo Adrián González González, Profesor Titular, Facultad de Ingeniería

Índice

Introducción	4
Capítulo 1 México frente al cambio climático	10
Estado actual del cambio climático	11
Marco legislativo, institucional y actores del sector público	16
Otros actores en el combate climático	23
Vulnerabilidad en México	28
Resumen, bibliografía y anexos	41
Capítulo 2 Adaptación al Cambio Climático	46
Tipos, niveles y acercamientos de adaptación	47
Justicia y equidad	55
Límites de la adaptación	57
Adaptación en México	58
Resumen, bibliografía y anexos	67
Capítulo 3 Tecnologías para la adaptación	72
Zonas Costeras y fenómenos hidrometeorológicos extremos	75
Producción alimenticia	80
Agua	86
Infraestructura y asentamientos urbanos	89
Salud y servicios básicos	92
Resumen y bibliografía	96
Capítulo 4 Innovación	100
Medir la innovación	101
Marco Normativo, Institucional y Actores de la Innovación	103
Innovación mexicana frente al mundo	109
Definir para entender y transformar	112
Resumen y bibliografía	116
Capítulo 5 Innovación en Tecnologías para la adaptación	120
Inserción en el marco jurídico e institucional	121
Elementos para la innovación en tecnologías para la adaptación	126
Transferencia de tecnología	131
Modelos de innovación	133
Diferentes actores diferentes papeles	138
Resumen y bibliografía	144
Conclusión	148
Tablas de contenidos	151

Agradecimientos

A la Facultad de Ingeniería y la UNAM por su generosa formación y todas las oportunidades que me brindó. A mi asesor Antonio del Río por acompañarme y guiarme en este y otros procesos de aprendizaje y crecimiento. Mi madre por escucharme siempre y corregirme cuando lo necesitaba. A mi padre por su ejemplo y apoyo. A Pablo por enseñarme tanto y guiarme en el camino. A Gabi por su cariño y toda su sabiduría. A Theo por no molestarme demasiado, escucharme a veces y divertirme seguido. A Karen por su apoyo y cariño. A Valentina por mostrarme mundos nuevos, por apoyarme y empujarme siempre. A mis tíos por que sin ellos sería un joven sin tíos. A mis primos por la infancia juntos y la promesa de compartir también la vejez. A mi abuela por incitarme siempre a terminar la carrera. A mis suegros Laura y Fabio y mis cuñados Tatzio y Dani por abrirme los brazos. A Jorge por enseñarme y confiar en mí. A todo el equipo de la SOEMA Gabriel, Adriana, Lalo, Delmar, María, Pedro, Andrés y Álex por todo lo que compartimos e hicimos juntos. A Miguel Figueroa por su enorme apoyo y por creer en mí. A Myrna y Jose por toda su ayuda. A InnovaUNAM por la entrevista. A la Totoaba por mantenerme cuerdo y vivo y por todos los buenos momentos. A Santiago, Iván y Daniela por soñar juntos incansablemente y disfrutarlo siempre. A mi equipo de la SES, Luis, Gaby, Alejandra, Martha, Axel y Taku por todo su tiempo y compromiso. A Student Energy por todas las oportunidades. A Christian y la FES por apoyarme para ir a la COP. A los profesores que me retaron y me ayudaron a crecer mi curiosidad. A Susana y Mau por empezar conmigo este camino. A mis compañeros y profesores de agro por todo lo que me enseñaron y los ejemplos que me dieron. A Regina, mi compañera de tesis, por darme el empujón que necesité para terminar esto. A Martina, Nora y Juan Carlos por estar siempre. A Nico y Corkidi por mantener las tradiciones. Pedro por su guía jurídica y la infancia que compartimos. A Berni, Renata, Nicolas, Cesar, Paloma, Regina, Sara, Sonia, Gabriel y muchos otros con quienes he discutido sobre estos temas o de otros. A Revol por la familia. A los amigochos por todo lo que hemos vivido.

Introducción

Según el último reporte (AR 15, 2019) del IPCC, la máxima autoridad científica en cambio climático, las acciones necesarias para evitar un calentamiento global superior a 1.5°C se deben llevar a cabo antes del 2030. De lo contrario esa temperatura se superará en algún momento entre 2035 y 2055 lo que implicaría consecuencias peligrosas para toda la vida en el planeta. En el 2030 yo voy estar alcanzando los 35 años. Aún si la historia nos ha mostrado casos de gente de esa edad o más joven que han causado grandes impactos en su entorno, por la cantidad de experiencia acumulada a esa edad es menos común tener mucha capacidad de acción. Entre el 2035 y el 2055 tendré entre 40 y 60 años, una edad más común entre las y los tomadores de decisiones. Frente a la oportunidad de escoger un camino para mi futuro laboral, no solo tengo que pensar en qué quiero hacer más adelante, sino también en cómo puede ser el contexto a mi alrededor más adelante. Por esta razón, al tomar la decisión de hacer una tesis, decidí escoger una que me encaminara en la dirección de la batalla para enfrentar las consecuencias del cambio climático en vez de la de intentar reducirlo. Esto no quiere decir que yo esté seguro que la humanidad no va a hacer lo necesario en estos 11 años considerados por el IPCC como nuestra ventana de oportunidad. Mucho menos que considere que no vale la pena sumarse a esa lucha por grande o pequeña que pueda ser nuestra participación. Al contrario, yo creo que hacen falta muchas más manos y mentes de todas las edades, áreas y países trabajando intensamente para mitigar el cambio climático sin importar el aumento de temperatura que se esté experimentando. Sin embargo a mi me interesa formarme en el camino de la adaptación para tener las herramientas de proteger a la sociedad y el territorio en el futuro cercano a pesar de las acciones de otros. Por supuesto estos dos caminos se cruzan y en muchas etapas recorren los mismos tramos, mitigando con medidas de adaptación y viceversa. Pero también presentan diferencias con implicaciones importantes en las razones y objetivos de cada acción. Esta tesis representa esos primeros pasos para responder la pregunta ¿Cómo puedo ayudar a enfrentar los retos en México relativos a la adaptación al cambio climático desde la ingeniería mecánica?

Entre la adaptación y la innovación

Esta tesis, se sitúa en la intersección de dos áreas de estudio centradas en México. Tanto en la adaptación como en la innovación se busca entender su estado actual, retos principales, mecanismos de acción y perspectivas futuras. En la intersección de las dos buscaremos entender qué quiere decir la innovación en tecnologías para la adaptación y cómo y por qué potenciarla.

La tesis comienza buscando describir un panorama general del combate climático en México. La primera sección resume el estado actual del cambio climático en el mundo para enfatizar lo actual y urgente de la problemática. Se describe el conjunto de leyes, instituciones y mecanismos con los que cuenta el país para enfrentar el cambio climático (CC). Y concluye con un estudio de la vulnerabilidad ante el cambio climático del país que revela la desigualdad, la falta de capacidad gubernamental y la dependencia de distintos recursos externos como algunos de los principales retos del país.

El *capítulo 2* constituye el marco teórico de la adaptación al CC en México. Se describen a grandes rasgos los elementos principales de este tipo de acción climática, como las escalas y los enfoques para entender las distintas estrategias y sus especificidades para enfrentar las consecuencias del cambio climático. El estudio se enfoca a continuación en México, describiendo con más detalle las herramientas, los distintos actores y sus papeles en materia de adaptación actualmente y a corto y mediano plazo. Este capítulo revela que aún es necesario robustecer la capacidad de acción en materia de adaptación a todos los niveles.

Antes de entrar en la sección de innovación, el *capítulo 3* presenta la herramienta específica de acción para adaptación a la que se enfoca esta tesis, la tecnología. Para cinco sectores se exponen algunas tecnologías específicas implementadas o implementables en México. Este capítulo permite entender qué quiere decir tecnología para la adaptación y mediante una categorización se puede entender la diversidad que representa el término. También revela que pese a su diversidad, también existen algunos elementos que relacionan a las tecnologías para la adaptación, como el enfoque social, el uso de energías renovables y eficiencia energética. También proponemos un cambio al diagrama convencional de tecnología sustentable que podría tener más validez que el convencional en el futuro cercano.

El tema de innovación se empieza a explorar en el *capítulo 4* que comienza buscando entender las metodologías de medición y evaluación de la innovación a distintos niveles para poder describir el estado actual de la innovación en México. Distintos retos se revelan, como la falta de inversión en investigación y desarrollo (I&D), la falta de articulación entre sector privado y academia y distintos factores asociados a la capacidad gubernamental como la corrupción e ineficiencia burocrática. Para introducir el capítulo final, se buscó definir el concepto de *innovación en tecnologías para la adaptación* a través de estudiar distintas definiciones de innovación para otras áreas y sectores. Se vuelve claro que este tipo de innovación requiere de una definición más amplia e incluyente que otras concepciones de innovación más comunes lo que implica algunos cambios conceptuales importantes con muchas implicaciones a distintos niveles.

Finalmente, se integran todos los elementos de los capítulos anteriores con el *capítulo 5* que plantea algunos de los elementos necesarios para una estrategia nacional de innovación

en adaptación. En este capítulo se proponen los términos *seguridad tecnológica e innovación autónoma* que ayudan tanto a justificar la importancia de la innovación en tecnologías para la adaptación como a entender sus implicaciones. Finalmente se distinguen cuatro tipos de innovación en tecnologías para la adaptación y la participación de los distintos actores en cada uno de ellos para poder plantear las bases de una estrategia capaz de apoyar y articular a estos actores.

Para concluir se abordan los temas de la temporalidad de la innovación en tecnologías para la adaptación y sus límites y se desarrolla una reflexión sobre la relación entre la adaptación y la resignación.

A lo largo de esta tesis se presentan cinco Fichas que exponen datos e información de manera gráfica para resumir o esclarecer elementos de esta investigación. Realizamos estos documentos con la intención de cerrar la brecha entre los medios principales de divulgación de información sobre el cambio climático: los recursos científicos y académicos poco accesibles para la población en general y las noticias digitales que son generalmente simplistas y superficiales. En estas fichas se propone un formato con rigor científico pero accesible y atractivo visualmente.

Justificación

La adaptación y la innovación son dos áreas de gran relevancia para el país. Las condiciones geográficas, económicas, sociales y políticas se traducen en una serie de riesgos para la población y el territorio mexicano. La innovación tecnológica, además de ser uno de los imperativos de la práctica ingenieril, es uno de los mecanismos que pueden incrementar la capacidad de un país para enfrentar sus retos más importantes y incrementar la calidad de vida de su población. Finalmente, para permitir el desarrollo del país y minimizar sus pérdidas a corto, mediano y largo plazo, es necesario que podamos enfrentar los distintos retos actuales y futuros siendo el CC uno especialmente peligroso. Y para lograrlo, es necesaria una infraestructura, capacidad y motivación de desarrollar e implementar las tecnologías de la adaptación específicas que permitan enfrentar los efectos del CC en nuestro territorio y población. Por lo tanto, consideramos que es importante estudiar la innovación en tecnologías de la adaptación.

Realizamos un estudio representado en la Tabla 1 para entender si aún existe espacio para investigar en este tema o si ya ha sido ampliamente estudiado. En efecto, existen sólo cuatro tesis publicadas por la Facultad de Ingeniería relativas al CC, una que trata temas de adaptación, y solo seis que estudian la innovación en México y cómo potenciarla, aunque la mayoría no son actuales. En la UNAM estos dos temas han sido estudiados más ampliamente, pero sobre todo desde un punto de vista de políticas públicas y exteriores o en materia social y económica. Aunque desde diferentes disciplinas en la UNAM las dos áreas de estudio de esta tesis sí han sido tratadas, no se encontró ningún trabajo de tesis situado en su intersección, por lo que podemos concluir que este trabajo es relevante y pertinente y se encuentra en un terreno fértil y poco explorado.

En el título de esta tesis destacan tres elementos. El objeto central de esta tesis, *la innovación en tecnologías para la adaptación*, que se plantea como un término específico que se define en el *capítulo 4* mediante un análisis de las definiciones de los términos *innovación*, *tecnología* y *adaptación* y de la definición de *innovación en tecnologías climáticas* de el Organismo de Tecnología de la UNFCCC. Un elemento espacial y temporal que centra el estudio en México en un contexto de cambio climático. Y el objetivo principal: construir una *herramienta para la búsqueda de bienestar*. Donde se reconoce bienestar como un conjunto de condiciones específicas a cada población y que cambian con el tiempo que le permiten disfrutar la vida, empezando por la satisfacción de sus necesidades básicas. A lo largo de este trabajo se profundiza más sobre algunas de estas condiciones para construir una definición de bienestar más robusta.

Tabla 1 | Trabajos de grado en la UNAM sobre el área de estudio

Palabras clave para la búsqueda	Cantidad	Procedencia	Nivel		Fecha de publicación promedio
			Licenciatura	Maestría y Doctorado	
Innovación México , Innovación mexicana	6	FI	100%	0%	1987
	330	UNAM	49%	51%	Más del 70% son de hace más de 15 años
Adaptación al Cambio Climático , Adaptación climática	1	FI	0	100%	2017
	16	UNAM	44%	56%	2014
Cambio Climático	4	FI	75%	25%	2012
	242	UNAM	55%	45%	Principalmente recientes
Innovación Cambio climático , Innovar cambio climático, Innovando cambio climático, Innovación calentamiento global, Innovación climática,	0	-	-	-	-
Tecnologías Adaptación cambio climático, Tecnología cambio climático, Tecnologías climáticas	0	-	-	-	-

Este estudio se realizó accediendo a la base de datos de tesis de la UNAM Oreon, en agosto de 2018

Fuente: Elaboración propia

Objetivo

Esta tesis busca demostrar que México debería potenciar su capacidad de innovación en tecnologías de la adaptación, a corto, mediano y largo plazo, por razones sociales, ambientales y económicas y que podría convertirse en un líder internacional o regional en esta área del desarrollo tecnológico. Por su puesto como consecuencia de esta declaración, se busca demostrar que aquellas instituciones que empujan la innovación nacional, en particular las universidades públicas como la UNAM y la Facultad de Ingeniería, deberían construir la infraestructura para liderar el desarrollo tecnológico para la adaptación climática. En la sección final se pretende esbozar los principios de lo que podría ser una estrategia nacional que potencie este tipo de innovación ayudando a reducir los impactos del cambio climático en México y aprovechando cualquier potencial benéfico.

Capítulo 1 | México frente al cambio climático

“No quiero que se sientan esperanzados, quiero que entren en pánico”

Greta Thunberg, activista climática

La idea de que el clima de cierta región puede cambiar no es reciente. Pero concebir, demostrar y comunicar el hecho de que acciones humanas pueden cambiar el clima del planeta completo es una tarea mucho más compleja que empezó a mediados del siglo XIX y, desgraciadamente, aún no acaba por completo. Los primeros esfuerzos relacionados con enfrentar un cambio climático generado por acciones humanas fueron científicos, al desarrollar las teorías, experimentos y modelos que demostraron la relación entre el aumento de la concentración de CO₂ en la atmósfera, por aumento de emisiones de GEH y disminución de sumideros, y el aumento de la temperatura global. Aunque el CC ya estaba siendo tomado en cuenta en las políticas públicas de algunos países, a partir del desarrollo de un marco científico suficientemente robusto, con la publicación del First Assessment Report (1990) y el Supplementary Report (1992) del IPCC, se detonó la acción climática global desde todas las áreas (Hecht & Tirpak, 1995).

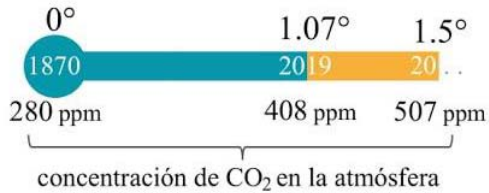
México reconoce legalmente el CC como un fenómeno antropogénico desde 1994, al entrar en vigor la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC). Cada vez más conscientes de los retos asociados a este fenómeno y de las acciones internacionales sobre el tema, más actores de la academia, el gobierno, el sector público y la sociedad civil se sumaron a los esfuerzos nacionales para reducir los impactos del CC en México y el mundo. EL CC, y conceptos como la sustentabilidad, la mitigación y la adaptación, permearon en las conversaciones nacionales desde el Senado hasta los salones de clases de todos los niveles.

En este capítulo comenzamos con una revisión de los datos científicos más actualizados que revelan el estado actual del cambio climático en diferentes sistemas presentado en un formato de infografía científica que pretende brindar información para divulgación pero con justificación científica. Más adelante, revisaremos la participación de los sectores público, privado y académico; la sociedad civil y los actores internacionales, en la acción para contender con el CC, buscando entender la evolución de cada uno de estos sectores, el papel que representan y sus objetivos. Se empezará describiendo el marco legislativo e institucional, que permite, fomenta y mandata las acciones propias y conjuntas entre todos los sectores, y genera herramientas de apoyo. Más adelante se analizarán los otros sectores que juegan un papel determinante en la creación de conocimientos, el desarrollo de proyectos, la implementación de acciones, la exigencia y vigilancia. Este sub-tema se estudiará con un acercamiento general a la acción climática, ya que en capítulos posteriores se estudiarán más a detalle los elementos de adaptación y fomento a la innovación.

Ficha 1 | Estado actual del cambio climático al 2019

Los datos con consenso científico más actualizados sobre los cambios medidos causados por el cambio climático

Aumento de temperatura



Hielo ártico



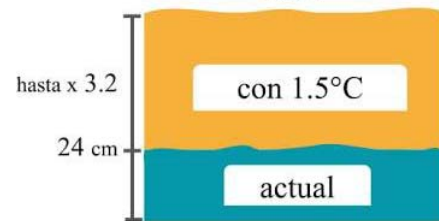
disminución del área promedio al 2018

Acidificación del mar



del aumento letal para los corales

Aumento del nivel del mar



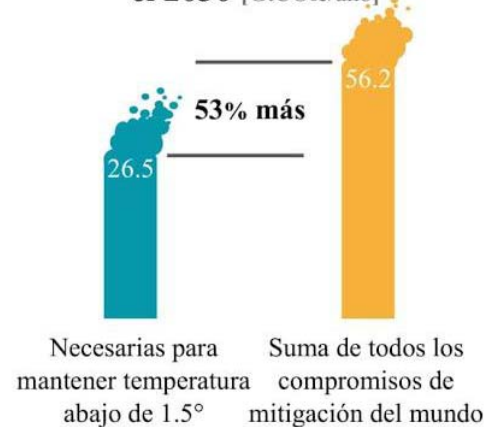
Pérdida de biodiversidad



Melomys de Bramble
2016

1^{ra} extinción sólo por cambio climático

Emisiones de CO₂ en el 2030 [GtCO₂e/año]



Referencias, metodología y proyecciones

El cambio climático no es una amenaza futura, es una problemática actual que se intensifica constantemente. En este documento se pretende exponer los datos más relevantes y con extensa justificación científica sobre la situación actual del cambio climático en distintos sistemas para entender en qué punto nos encontramos el día de hoy y cómo podría ser en el futuro.

Cada dato está acompañado de algunas estimaciones sobre cómo podría evolucionar ese sistema o esa problemática con un calentamiento global de 1.5°C. Se seleccionó esta referencia de temperatura porque representa la meta global de aumento de temperatura máxima por la que la comunidad científica está abogando, en especial desde la publicación del [Reporte Especial 15](#) del IPCC sobre 1.5°C publicado en el 2019. Este documento no pretende convencer a nadie de que el cambio climático es real ya que se asume que esa tarea ha concluido desde la firma del Protocolo de Kioto por el 99% de los países del mundo en 1997. Defendiendo la propiedad acumulativa del conocimiento, este documento más bien busca traer a la conversación una dimensión temporal y un sentido de urgencia manteniendo una postura de rigurosidad científica. Contrariamente a la divulgación periodística que generalmente se reduce a encabezados poco fieles, aquí se describe la dimensión científica.

A continuación se describe lo que representa cada uno de los datos, las metodologías que se implementan para obtenerlos, las fuentes que los soportan y las proyecciones con mayor consenso científico.

Concentración de CO₂

El CO₂ es el gas de efecto invernadero que más participación tiene en el calentamiento global porque es el que se emite en mayores cantidades y permanece en la atmósfera durante mucho tiempo. Por lo tanto, conocer la cantidad de CO₂ en la atmósfera es crucial para entender la

relación entre las actividades humanas y el aumento de la temperatura de la tierra. Si bien medir esta cantidad directamente es imposible, conocer la concentración promedio, es un buen indicador. Además, es la medida que se evalúa para determinar la cantidad de CO₂ en la atmósfera del pasado mediante los experimentos con el hielo ártico. Los científicos del paleoclima han establecido una línea base en 280 ppm de las concentraciones de CO₂ en épocas preindustriales y han comprobado que desde hace 800,000 años nunca se habían sobrepasado 300 ppm, hasta el año 1950 ([Vostok ice core data/J.R. Petit et al.; NOAA Mauna Loa CO₂ record](#)).

Existen muchos centros de investigación independientes y gubernamentales que realizan mediciones periódicas de la concentración de CO₂ en la atmósfera. Los datos seleccionados son de promedios anuales globales publicados por la red de medición cooperativa NOAA-ESRL, a cargo de la Administración Nacional Atmosférica y Oceánica de los Estados Unidos, porque concentra la información de cientos de estaciones en todo el mundo.

Los valores estimados de las concentraciones de CO₂ que simbolizan un calentamiento de 1.5°C y 2°C, son los aceptados por el IPCC (“Fifth Assessment Report - Synthesis Report”, 2007). Fueron estimados al realizar modelos climatológicos de respuesta transitoria (TCR) y evaluar la distribución de probabilidad de alcanzar esas temperaturas con diferentes concentraciones hasta encontrar los valores que resultaron en una probabilidad del 66% de superar estas temperaturas.

La concentración promedio anual global en el 2016 de CO₂ en la atmósfera es de 508 ppm, lo que representa un 170% de aumento respecto al promedio de los últimos 800,000 años. También representa el 56% del aumento necesario de la concentración de CO₂ que con 66% de probabilidad podría generar un aumento de temperatura global promedio de 1.5°C.

Cantidad de hielo ártico

La mayoría del hielo flotante en los océanos se encuentra en el polo norte. Los cambios en este sistema generan importantes efectos en su composición (el agua congelada no tiene la misma salinidad que los océanos actuales), temperatura (el hielo normalmente enfría las corrientes calientes que llegan del sur) y las corrientes oceánicas (las masas de nueva agua fría se mueven de manera diferente que las corrientes normales). Estos efectos, aumentan drásticamente la probabilidad de presentar fenómenos meteorológicos extremos y generan un gran impacto en la biodiversidad oceánica. Además, la disminución de superficie reflectiva (hielo blanco convertido en agua) genera un efecto de retroalimentación, llamado efecto Albedo, que hace que calor que normalmente se reflejaba a la atmósfera sea absorbido por el agua y aumente su temperatura.

La extensión de hielo ártico cambia naturalmente a lo largo del año. Para evaluar el impacto del cambio climático en este sistema, se evalúa principalmente el promedio anual de área de hielo flotante en el ártico, los valores máximos y mínimos y las fechas en las que se alcanzan. La mínima extensión registrada fue en el 2012, cuando el promedio fue de 3.4 millones de kilómetros cuadrados mientras que en 1980 fue de 7.9 millones de km². Mediante una regresión lineal de los [datos satelitales de la NASA de extensión de hielo en el ártico](#) se encuentra que la disminución promedio de la extensión de hielo ártico del 42% entre 1979 y 2018. En promedio se disminuye la extensión de hielo en 822,300 km² al año o 12.8% por década desde 1989. (Change, 2018)

Temperatura

El efecto inmediato de los cambios en los gases de la atmósfera, es un aumento en la radiación solar que se queda atrapada en la tierra. Esta radiación excedente (que antes de la era industrial era reflejada hacia el espacio) calienta la superficie terrestre, los océanos y la atmósfera.

Todos los efectos del cambio climático son consecuencia de este calentamiento anómalo, por lo tanto el aumento en la temperatura global es el principal indicador para evaluar cuantitativamente los efectos de las actividades humanas en el clima del planeta.

Medir y relacionar el aumento de temperatura con las actividades humanas no es trivial. Por un lado, es necesario determinar dónde se van a realizar las mediciones (¿A qué distancia sobre el nivel del mar?, ¿Sobre la tierra, el mar o el aire?, ¿Se consideran cerca de ciudades o no?, etc). Por otro lado, no toda la energía radiativa anómala se traduce en aumento de temperatura de la atmósfera (por ejemplo: expansión térmica de los océanos, derretimiento de hielo, aumento de temperatura de suelos, etc). Además, existe una gran cantidad de fenómenos llamados de retroalimentación y de almacenamiento de energía térmica que contribuyen a que no exista una relación lineal directa entre la cantidad de energía anómala en el sistema terrestre y su temperatura atmosférica superficial. Con fines prácticos, la comunidad científica y los países firmantes de los acuerdos de París han acordado que el valor de interés es la Temperatura Superficial Global Promedio o GMST (por sus siglas en inglés). Y se han comprometido a que la GMST no exceda 2°C para evitar consecuencias catastróficas del cambio climático en los humanos y demás seres vivos del planeta. Aunque actualmente y en especial desde el último reporte de la ONU, se está considerando que el valor máximo de calentamiento global debería ser de 1.5°C ya que desde esa temperatura, se presentan importantes efectos del cambio climático.

Para establecer los valores de GMST preindustriales, mediciones metódicas con termómetros nos permiten conocer la temperatura promedio superficial desde 1850 y se ha calculado la temperatura del planeta de los últimos 800,000 años mediante el estudio de diversos proxies climáticos (mediciones que nos permiten inferir valores del pasado, como los anillos de árboles fosilizados o las densidad de

bacterias en sedimentos oceánicos que se reproducen con mayor frecuencia a mayores temperaturas).

Actualmente se realizan mediciones con unidades de sondeo de microondas en satélites, y estaciones de medición en la superficie y sobre el mar. Algunas de las fuentes más confiables que procesan y condensan mediciones de la GMST son la [NASA](#), NOAA ambas estadounidenses y la Met Office de Inglaterra con la base de datos [HadCRUT4](#). Estas metodologías de evaluación de temperatura ignoran los diversos fenómenos que alteran el balance energético de la tierra sin un impacto en su temperatura, por lo tanto existen otras metodologías que deducen un calentamiento a partir de la radiación solar y la cantidad de gases de efecto invernadero en la atmósfera, permitiendo una correlación más directa entre calentamiento global y las actividades humanas como el [Global Warming Index](#) (Haustein et al., 2017). Entre todas estas fuentes de información, existe una cierta variabilidad, por lo tanto los valores seleccionados son los publicados por el [IPCC](#) en su último reporte que sitúan el calentamiento antropogénico global actual en 1 ± 0.2 °C (IPCC, 2018).

Nivel del mar

El aumento del nivel del mar es una de las consecuencias del cambio climático con más efecto en los sistemas humanos, debido a que aproximadamente 40% de la población mundial vive en zonas costeras de alta densidad. Este fenómeno, puede convertir zonas habitadas y productivas en inhabitables (entre ellas 8 de las 10 ciudades más grandes del mundo), aumentar la frecuencia e intensidad de las inundaciones, huracanes y tormentas (“UN Atlas of the Oceans: About”, 2018).

Dos factores son responsables del aumento del nivel del mar actual: expansión térmica (la temperatura promedio del océano ha aumentado y el agua caliente ocupa más volumen que el agua fría), y un aumento de la masa oceánica (ocasionado por derretimiento de hielo terrestre y

cambios en aguas superficiales y subterráneas) (Cazenave, Lombard, & Llovel, 2008). Ambos factores contribuyeron en partes iguales con el aumento del nivel del mar actual, pero hoy en día el derretimiento acelerado del hielo superficial es su causa principal. Para conocer el nivel histórico del mar se utilizaron registros de mediciones en costas e islas, las actuales son producidas por satélites con sensores de altimetría. Para conocer los cambios de la masa oceánica (cuanta más agua hay en el mar) se utiliza el satélite GRACE que puede medir la atracción gravitacional en cualquier punto de la tierra y por lo tanto calcular cuánta masa se encuentra en esa sección.

El aumento actual es de 210 ± 20 [mm] (Church & White, 2011) respecto a 1880 y se espera que para un calentamiento de 1.5°C sea de entre 0.26 y 0.77 [m] y 0.1 [m] más para 2°C (IPCC, 2018).

Acidificación

Desde hace decenas de millones de años, los océanos han mantenido un nivel de acidez relativamente estable. Actualmente, aproximadamente un cuarto del CO₂ que se emite a la atmósfera es absorbido por el océano que al reaccionar con el agua produce ácido carbónico (Canadell et al., 2007). El ácido carbónico se descompone en iones de bicarbonato y protones que a su vez reaccionan con los iones de carbonato para generar iones de bicarbonato. Todos los crustáceos producen sus caparazones por medio de calcificación que requiere de iones de carbonato. Por lo tanto, el CO₂ de la atmósfera produce ácido carbónico, que produce protones que transforman los iones de carbonato en iones de bicarbonato impidiendo el crecimiento de corales y otros crustáceos y eventualmente disolviendo sus caparazones. A este proceso se le conoce como acidificación del mar ya que el aumento del ácido carbónico disminuye el pH del agua.

Los valores históricos de la concentración de iones de carbonato se establecieron mediante el estudio Vostok de hielo ártico que determinaron un promedio pre industrial de aproximadamente $270 \mu\text{mol.kg}^{-1}$ y nunca menor a $240 \mu\text{mol.kg}^{-1}$ en

los últimos 420,000 años. Actualmente la concentración media superficial es de 210 $\mu\text{mol.kg}^{-1}$. No se conocen corales que habitan en aguas con concentraciones menores a 200 $\mu\text{mol.kg}^{-1}$ (Kleypas, Mcmanus, & Meñez, 1999). Se proyecta que ese límite se alcance aproximadamente a los 480 ppm de concentración de CO_2 en la atmósfera, lo cual podría suceder incluso antes del aumento de temperatura de 1.5°C (Hoegh-Guldberg et al, s/f).

Disminución de biodiversidad

El cambio climático tiene un impacto en todos los seres vivos del planeta. Los seres humanos cuentan con capacidad tecnológica para adaptarse a muchos de esos cambios, pero para muchos animales adaptarse será imposible. Algunos están ya muriendo como los corales que son muy sensibles a la temperatura y al pH del mar, y pequeñas alteraciones pueden matarlos. El cambio climático también puede mejorar las condiciones de algunos animales como el plancton que está encontrando alimento en el hielo derretido del ártico lo que le permite reproducirse aceleradamente. En ambos casos se genera un fuerte impacto en los ecosistemas locales que pueden tener impactos a mayor escala y también afectar a los seres humanos que dependen del funcionamiento de ese ecosistema.

Actualmente se estima, que a causa de sobreexplotación humana, contaminación de áreas naturales y pérdida de hábitat, se han perdido el 80% de los animales terrestres y los mamíferos marinos y el 50% de las plantas (Bar-On, Phillips, & Milo, 2018). Los efectos de cambio climático son uno de los factores que contribuyen a esa tendencia de extinción masiva y sostenida. Al evolucionar la problemática, el cambio climático se convertirá en un factor cada

vez más importante que ocasione esas muertes y extinciones.

Actualmente, se tiene registro de solo una especie que ha desaparecido por completo del planeta únicamente por causas climáticas. Se trata del roedor *Melomys* de los Cabos Bramble, una isla en Australia. Esta isla se encuentra a un máximo de 3 metros sobre el nivel del mar, y con el aumento del nivel del mar y los cambios en las mareas se ha reducido en un 97% el hábitat del *Melomys* causando su extinción documentada en 2016 (Waller, Gynther, Freeman, Lavery, & -P. Leung, 2017).

Acciones pactadas

Según el Reporte Especial 15 sobre 1.5°C del IPCC, [“en escenarios modelados donde no hay un sobrepaso o uno muy pequeño de los \$1.5^\circ\text{C}\$ \[de la temperatura superficial media global\], las emisiones antropogénicas de \$\text{CO}_2\$ totales anuales en el 2030 se reducen de aproximadamente 45% respecto a las del 2010”](#) (IPCC, 2018). Los valores de las emisiones en el 2010 según el mismo reporte, son de 48.1 [$\text{GtCO}_2\text{e/año}$]. En el [reporte del IPCC sobre el impacto agregado de los Acuerdos de París](#), si todos los países del mundo cumplen con sus compromisos de disminución de emisiones (NDCs), en el 2030 se estarían emitiendo 56.2 [$\text{GtCO}_2\text{e/año}$] (IPCC, 2016).

Por lo tanto, usando datos publicados exclusivamente por la máxima autoridad científica en el tema, se encuentra que las emisiones proyectadas en 2030, en el caso que todos los países logren o decidan cumplir con sus compromisos, serían un 53% superiores que las necesarias para que el planeta no se caliente más de 1.5°C (IPCC, 2016).

Marco legislativo, institucional y actores del sector público

En 1992, durante la *Cumbre de la Tierra* en Río de Janeiro, México firma la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), comprometiéndose con el objetivo de “la estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropógenas peligrosas en el sistema climático” (UNFCCC, 1992). Este evento marca el inicio de la acción climática mexicana al nivel gubernamental, al reconocer las fuentes de CO₂ antropogénicas como las causantes de los cambios acelerados en el clima. Después de ser firmado, el acuerdo no se convierte en una norma jurídica, hasta entrar en vigor después de ser ratificado. Lo que sucedió el 21 de marzo de 1994, convirtiendo al CMNUCC en el primer sustento en un marco jurídico nacional de cualquier acción de mitigación o adaptación (Suprema Corte de Justicia, 2015).

En los años subsecuentes, con la celebración anual de las Conferencias de las Partes (COP), México firmó y ratificó más acuerdos relacionados con el CC, como el Protocolo de Kioto, para participar en una estrategia global de combate climático. Pero, no fue hasta el 6 de junio de 2012, que México publicó la Ley General de Cambio Climático (LGCC), la primera ley redactada en el país que articula un marco legal e institucional específicamente desarrollado para el contexto nacional. Esta ley solidificó la capacidad gubernamental de generar y fomentar acciones concretas por el clima. Tres años después de la LGCC se publicó la Ley de Transición Energética, que consolida un marco jurídico que permite y fomenta la implementación a gran escala de energías limpias¹ para poder alcanzar los objetivos nacionales de mitigación. En efecto, la mayor parte de las emisiones de GEH en México son atribuidas a la energía. Por lo tanto, una parte muy importante del combate climático se traduce en modificar las maneras en las que producimos, transportamos, distribuimos, almacenamos y usamos energía en todas sus formas.

A continuación se describen más a detalle las dos leyes más importantes que constituyen el marco legal de la acción climática nacional. Más adelante se describen las instituciones que constituyen el marco institucional, y algunos instrumentos de apoyo, para poder entender con mayor profundidad las funciones de cada uno y la manera en la que se articulan.

¹ En la Ley de la Industria Eléctrica y la LTE, se definen las energías limpias aquellas que no rebasen ciertos umbrales de emisiones o residuos establecidos en las disposiciones reglamentarias, y considera las que aprovechen las fuentes renovables (viento, sol, océanos, geotermia, hidroeléctrica, biomasa y residuos), el hidrógeno en combustión o celdas de combustible, la energía nuclear, la cogeneración eficiente, la termoeléctrica con tecnología de captura y almacenamiento de carbono. En este concepto se incluyen fuentes de energía no renovables, como el gas natural y el uranio y con emisiones netas positivas como la cogeneración, por lo que es ampliamente criticado. Además, los volúmenes permitidos de emisiones se definen en leyes y documentos secundarios lo que los hace considerablemente vulnerables a cambiar con frecuencia y poco escrutinio.

Ley General de Cambio Climático

Esta ley, publicada en el 2012, representa el instrumento de política más importante del país para enfrentar el CC “y transitar hacia una economía competitiva, sustentable y de bajas emisiones de carbono”(Ley General de Cambio Climático, 2018). Una de sus principales aportaciones es decretar el derecho a un ambiente sano, dejando muy en claro su relación con la manera en la que el país lleve a cabo acciones de mitigación y adaptación. También determina la distribución de responsabilidades tanto de las instituciones e instancias gubernamentales ya existentes, como de algunas que la misma ley impone su creación, como el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). Finalmente, prevé una serie de instrumentos financieros, de planeación, evaluación, regulación y vigilancia, como el Fondo de Cambio Climático y la Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENCC) resumidos en la Tabla 2.

Seis años después de su publicación, la ley fue reformada el 13 de julio de 2018. Su elaboración estuvo a cargo de la SEMARNAT, y la reforma se realizó con la participación del INECC, la opinión del Consejo de Cambio Climático (C3) y aprobada por la Comisión Intersecretarial de Cambio Climático (CICC). Los principales cambios de la reforma son para adoptar los objetivos de los Acuerdos de París (2015), como la meta de 1.5 a 2°C y las INDCs y reforzar las acciones de adaptación, principalmente con la Política Nacional de Adaptación, además de mecanismos económicos como el comercio de emisiones a nivel internacional y CORSIA² (de los Angeles Rodriguez Aguirre, 2 de marzo del 2017). ¿no va solo el año de la cita?

Ley de Transición Energética (LTE)

Publicada en el 2015, surge como un acompañamiento a la reforma energética, que a pesar de ser publicada más de un año y medio después de la LGCC, contiene muy pocos elementos orientados específicamente a las energías limpias. Al igual que la LGCC, la LTE está complementada por una Estrategia de Transición para Promover el Uso de Tecnologías y Combustibles más Limpios (ETTCL) que puntualiza en metas e instrumentos. Ambas leyes constituyen una de las principales herramientas legales para cumplir con los objetivos de mitigación asociados con GEH en el país, al buscar regular y potenciar el aprovechamiento sustentable de las energías limpias. Decretan una serie de metas claras como 30% de la producción eléctrica de energías limpias para 2021 y 60% para el 2060. Crean los fondos de transición energética y del aprovechamiento de energías limpias. También permiten e instrumentan la generación distribuida y su financiamiento mediante de venta de energía sustentable y facturación de energéticos, y promueven el Programa de Redes Eléctricas Inteligentes.

² Esquema de reducción y compensación de emisiones de gases de efecto invernadero para la aviación internacional de la Organización de la Aviación Civil Internacional.

Tabla 2 | Resumen de organismos, instituciones e instrumentos creados por la LGCC y LTE

	LGCC	LTE
Instituciones y organismos	CICC SINACC INECC C3	Consejo Consultivo para la Transición Energética (CCTE) Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía Comisión Reguladora de Energía (CRE) Instituto Nacional de Electricidad y Energías Limpias (INEEL) Centros Mexicanos de Innovación en Energías Limpias (CEMIEs)
Instrumentos económicos y de financiamiento	Fondo para el Cambio Climático Sistema de comercio de emisiones	Mecanismo Flexible de Compensación Fondo para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía El Financiamiento para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía Subastas de Energías Limpias Certificados de Energías Limpias Reconocimiento en Excelencia en Eficiencia Energética
Instrumentos de planeación	ENCC PECCs Política Nacional de Adaptación Programas de las Entidades Federativas. INDCs	Estrategia de Transición para Promover el Uso de Tecnologías y Combustibles más Limpios (ETTCL) Programa Especial de la Transición Energética Programa Nacional para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía (PRONASE) Hoja de Ruta para promover el desarrollo de Cadenas de Valor de las Energías Limpias
Instrumentos informativos	Inventario y Registro Nacional de Emisiones Atlas Nacional de Riesgos Sistema de Información sobre el CC	Registro Público de Certificados de Energías Limpias Sistema de Información de Transición Energética

Fuente: Elaboración propia

Sistema Nacional de Cambio Climático (SINACC)

Es el principal mecanismo para coordinar, entre los actores gubernamentales la Estrategia Nacional de Cambio Climático y enfrentar de manera conjunta la vulnerabilidad y los riesgos del país. Está constituido por los municipios, los 32 estados, el H. Congreso de la Unión, INECC y el Consejo de Cambio Climático. El enfoque específico de este elemento dentro del combate climático nacional es coordinar todas las acciones conjuntas y asegurar el apoyo en materia climática en quehacer de cada elemento de gobierno. Por ejemplo, si la secretaría de transportes de un estado va a desarrollar una estrategia para ciudades, el SINACC apoya para que esa estrategia contribuya a la reducción de emisiones y la disminución de vulnerabilidad

en sincronía con las acciones nacionales. A continuación se describen más a detalle los 6 elementos que integran al SINACC y juegan un papel especialmente importante en la acción climática gubernamental nacional.

Comisión Intersecretarial de Cambio Climático (CICC)

La CICC es el mecanismo permanente que coordina las acciones entre las dependencias de la Administración Pública Federal relativas al CC y está integrada por 13 de 18 secretarías³ y el INEGI como invitado permanente. (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, 2018b). Por su naturaleza transversal, la CICC es uno de los principales responsables de formular e instrumentar las políticas nacionales en materia de mitigación y adaptación, considerando el impacto y la participación conjunta de todas las entidades gubernamentales. La CICC se reúne en sesiones plenarias ordinarias y en grupos de trabajo por lo menos dos veces al año en cada modalidad.



Figura 1 | Organismos del SINACC
Fuente: ENCC

Consejo de Cambio Climático (C3)

Compuesto por miembros de la sociedad civil, el sector privado y la academia, el C3 representa el órgano independiente y permanente de consulta de la CICC. Otras de sus funciones están asociadas a la participación social en la acción climática nacional y la evaluación de las acciones y metas previstas por la LGCC. Entre sus miembros destacan Mario Molina, quien fue su primer presidente, José Sarukhán y Ana Cecilia Conde, entre otros.

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC)

El INECC es instituto público y autónomo responsable de potenciar la investigación científica, tecnológica económica y política en materia de CC para diseñar, asesorar o evaluar políticas públicas a nivel nacional y de cooperación internacional. Cumple sus funciones mediante la investigación interna y la coordinación con y entre entidades externas. Es el principal responsable de evaluar la política nacional en la materia, principalmente mediante la Coordinación de Evaluación integrada por el titular del INECC y 6 consejeros sociales⁴.

³ Sólo no participan en el CICC la Secretaría de la Defensa Nacional (SEDENA), Secretaría Función Pública (SFP), Secretaría Trabajo y Previsión Social (STPS), y la Secretaría de Cultura (CULTURA)

⁴ Representantes de la comunidad científica, académica, técnica e industrial, con amplia experiencia en el sector

H. Congreso de la Unión

En el Senado existe la Comisión Especial de Cambio Climático y en la Cámara de Diputados la Comisión de Cambio Climático. Estas dos comisiones son las que impulsan dentro de las dos cámaras que se redacten o reformen los proyectos de ley que contribuyan a disminuir los impactos del CC en el país. Además de las funciones puramente legislativas, ambas organizan eventos y coordinan programas para aumentar la participación y formación ciudadana y gubernamental en la materia.

Estados y Municipios

Los estados y municipios tienen la responsabilidad de formular políticas y acciones en acorde con la LGCC y con la visión de la ENCC, en relación con los ámbitos de su gestión y competencia. Por ejemplo, los municipios pueden incidir en la manera en la que se gestionan los servicios de suministro de agua, pero es responsabilidad del estado manejar y cuidar las fuentes de agua. Muchas funciones se comparten, aunque a escalas diferentes, entre los tres niveles de gobierno, como el fomento a la educación, cultura e investigación relacionado con el clima.

Estrategia Nacional de Cambio Climático

Con la publicación de la ENCC el 3 de junio de 2013, se establecen metas a corto, mediano y largo plazo (10, 20, 40 años) para cumplir los objetivos de la LGCC. La ENCC busca ser un instrumento que subsiste cambios de gobierno y presenta una serie de objetivos, en diferentes ámbitos para que se desarrollen leyes y acciones que permitan alcanzarlos. Este documento, no presenta las acciones concretas a realizarse, ni los mecanismos puntuales que deberán usarse. Más bien, funciona como un mapa de ruta que plantea una visión a largo plazo de cómo debería ser el país y los puntos intermedios por los que deberíamos pasar (hitos), para contribuir con nuestra parte del combate climático global y minimizar los impactos del CC en el país. Este documento, no constituye un proyecto de ley, por lo tanto no cuenta con un carácter vinculante. La ENCC solo es obligatoria en la medida que alguna ley lo señale. Por

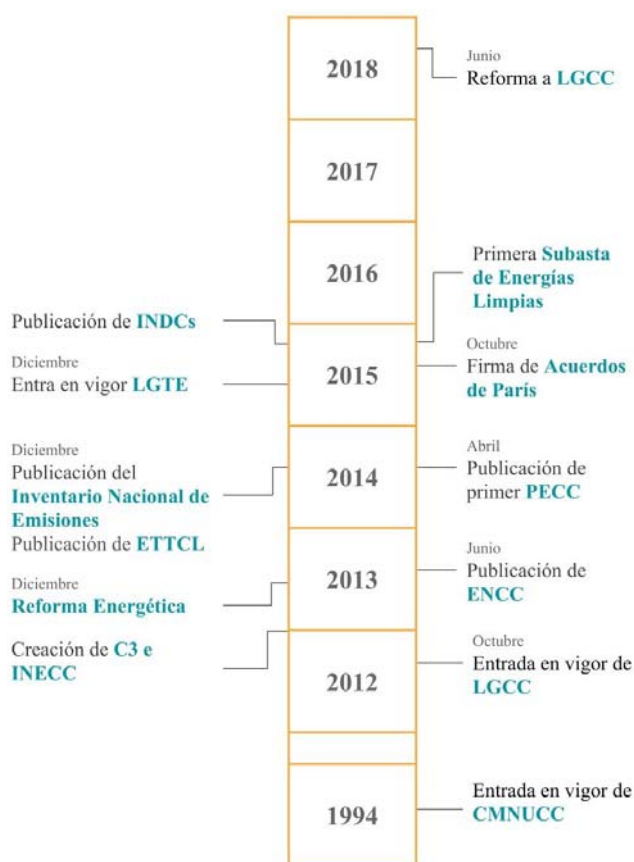


Figura 2 | Línea del tiempo de marco legislativo e institucional
Fuente: Elaboración propia

ejemplo en el Artículo 8o: “ Corresponde a las entidades federativas las siguientes atribuciones: [...] Formular, regular, dirigir e instrumentar acciones de mitigación y adaptación al cambio climático, de acuerdo con la Estrategia Nacional [...]” (LGCC, 2018). También establece seis pilares, sobre los cuales se debería construir una gran parte de las políticas y acciones públicas futuras. En orden se orientan de la siguiente manera, políticas públicas; instrumentos económicos; ciencia, innovación y tecnología; cultura climática; evaluación y monitoreo; y cooperación internacional. En cada uno de estos pilares se establecen entre 7 y 20 líneas de acción. La ENCC, contiene seis herramientas más que deberán guiar las actividades nacionales y representar un recurso guía obligado para todos los involucrados en generar e implementar políticas públicas.

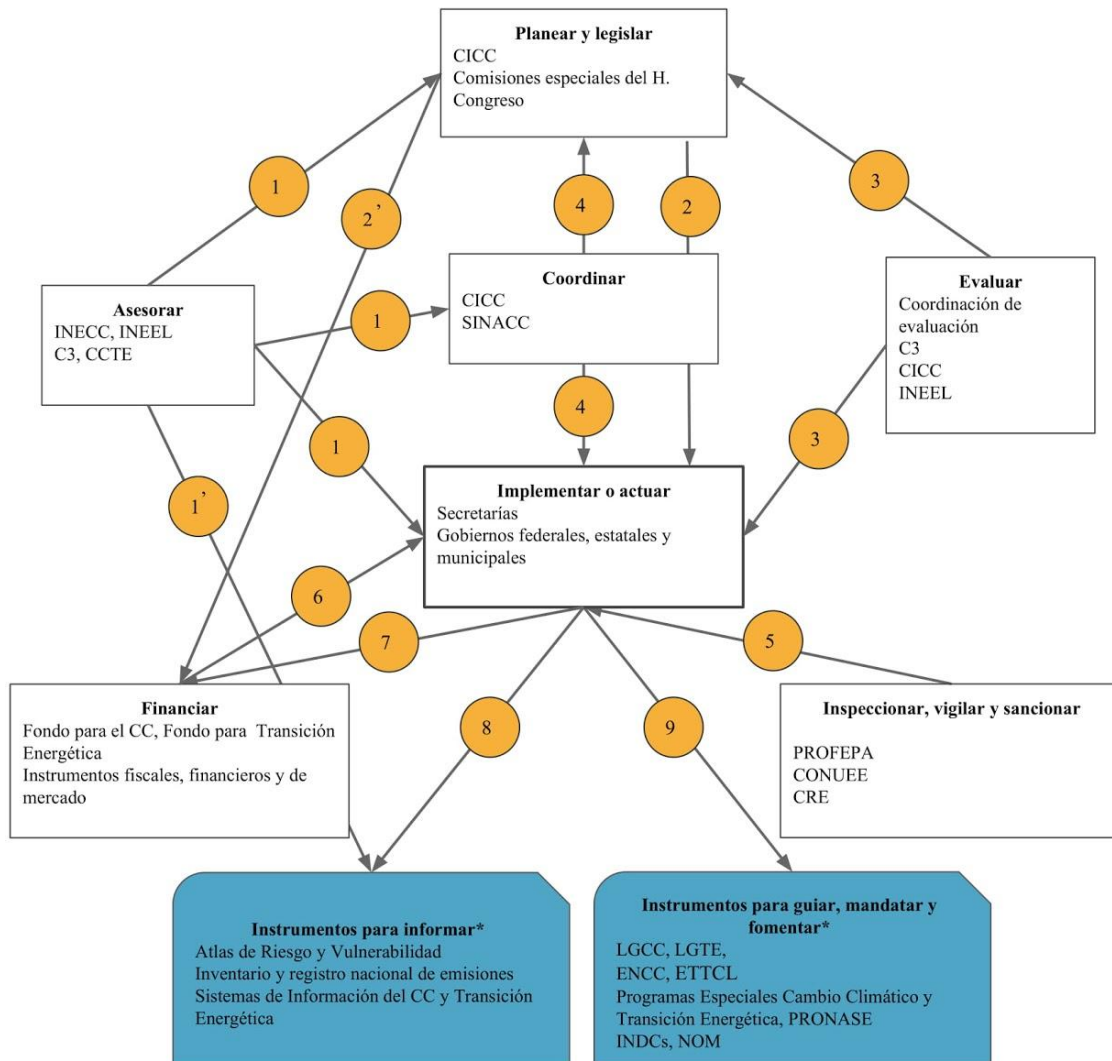
Programa Especial de Cambio Climático (PECC)

De acuerdo con la LGCC, cada administración es responsable de redactar, instrumentar e implementar su propio PECC que se anexa a su plan sexenal de desarrollo. A su vez, las administraciones de los otros dos niveles de gobierno (estatal y municipal), son responsables de redactar un programa de desarrollo en acuerdo con las intenciones del PECC federal. En este documento, cada entidad define las acciones y objetivos puntuales que responden a la visión e hitos de la ENCC.

Tabla 3 | Comparación entre Ley, Estrategia y Programa

	Ley	Estrategia	Programas
Funciones	<ul style="list-style-type: none"> Decreta derechos Crea instituciones e instrumentos Suma responsabilidades a instituciones existentes Define mecanismos de evaluación y sanciones 	<ul style="list-style-type: none"> Establece metas generales que involucran a diferentes sectores Define pilares y líneas de acción de política pública Describe una visión para el país representada en diferentes sectores 	<ul style="list-style-type: none"> Establecen metas por sector y dependencia Definen acciones y proyectos puntuales para cada sector Asignan presupuestos
Vigencia	Permanente a menos que la ley sea reformada o derogada	A mediano y largo plazo (hasta 2050). Está sujeta a revisiones máximo cada 6 años, que pueden resultar en actualizaciones del documento. Es un documento diseñado para sobrevivir sexenios.	Durante una administración (6 años)
Jurisdicción	Vinculante para todas las personas físicas y morales Mexicanas o en México	Aplicable a todas las personas físicas y morales Mexicanas o en México	Aplicable dependiendo del nivel de gobierno que lo expide (municipal, estatal o federal)

Ficha 2 | Resumen de funciones y articulación de actores gubernamentales y marco legislativo



* Los instrumentos informativos y rectores pueden apoyar las labores de todos los actores en este diagrama

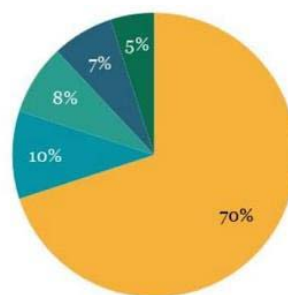
- | | |
|---|--|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. De acuerdo con la LGCC, a las diferentes entidades del gobierno en la materia
El INECC es responsable de la realización de algunos instrumentos informativos 2. El CIC, apoya en la redacción de leyes para asegurar transversalidad gubernamental.
En el Congreso con apoyo del CICC, también se asignan presupuestos y reglas para los instrumentos financieros. 3. Las políticas y leyes en relación con las metas y objetivos de la LGCC y otras | <ol style="list-style-type: none"> 4. Para asegurar una acción conjunta y organizada 5. Mediante las sanciones establecidas en las leyes 6. Proyectos que ayuden a cumplir los objetivos del Fondo correspondiente 7. Diseñar e implementar Instrumentos financieros estatales o municipales 8. Contribuir con información regional o sectorial 9. Redactar, instrumentar e implementar el PECC respectivo |
|---|--|

Otros actores en el combate climático

El combate climático no solo se lleva a cabo desde el gobierno. El sector privado, la academia, la sociedad civil y distintos organismos internacionales tienen una participación fundamental en asegurar la mitigación y adaptación del país. A continuación se presenta el papel de estos actores en el combate climático nacional para entender cómo se articula la estrategia integral nacional.

Sector Privado

La manera en la que se presentan las emisiones en el Inventario Nacional de Emisiones, representadas en la Figura 3, no permite inferir directamente la participación del sector privado o la industria en las emisiones nacionales. Aunque presenta que el 8% de las emisiones está asociada a los procesos industriales, se refiere específicamente a emisiones generadas directamente por las transformaciones de materia, por ejemplo la aplicación de pinturas en aerosoles a vehículos y las emisiones de carbono del manejo y transformación de minerales (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, 2018a). Por otro lado, de las emisiones asociadas a la generación de energía expuestas en la Figura 4, que representan el 70% de las emisiones

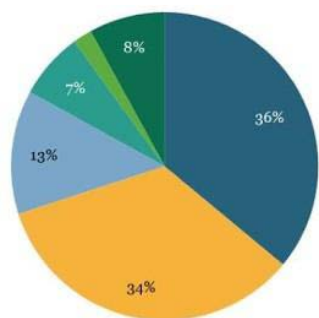


● Energía ● Ganado ● Procesos Industriales ● Residuos
● Otros y emisión no CO2 de la tierra

Figura 3 | Emisiones de GEI en México en 2015

Fuente: Elaboración propia

totales, el 13% es emitido por las industrias manufactureras y de la construcción. Este porcentaje se refiere a las industrias que producen su propia energía, generalmente en forma de calor, como los ingenios azucareros o las cementeras, pero no incluye las emisiones asociadas al consumo de electricidad de la red de las industrias. De este modo, se ignoran las emisiones asociadas al consumo y producción energética del sector privado, el transporte, los residuos producidos, la ganadería a gran escala entre otras. Para encontrar una aproximación



● Transporte ● Industrias de la energía
● Industrias de manufactura y de la construcción
● Petróleo y gas natural (emisiones fugitivas)
● Minería de carbonífera y manejo de carbón (emisiones fugitivas)

Figura 4 | Emisiones de GEI del sector energía

Fuente: Elaboración propia

a este valor, procedí a eliminar del total de emisiones presentados en el Inventario, las emisiones de las operaciones de manejo gubernamental (refinación de petróleo, manejo de residuos, extracción de hidrocarburos, emisiones fugitivas de extracción de petróleo y gas), las asociadas a las actividades de la sociedad civil (auto transporte, sector residencial) y se excluyeron por completo todas las emisiones y absorciones asociadas a la agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra porque el inventario no distingue entre las emisiones

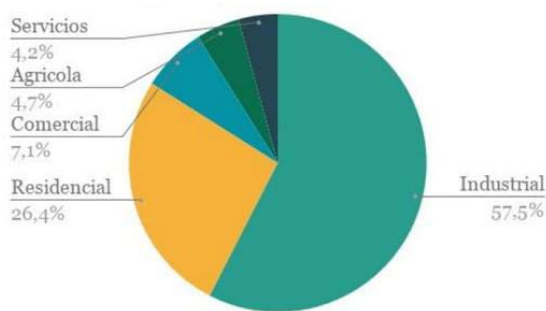


Figura 5 | Distribución de consumo de electricidad por sector en 2015 [GWh]

Fuente: Elaboración propia

asociadas a grandes empresas y productores rurales que sería ilusorio catalogar como sector privado. Finalmente, de la producción de energía eléctrica, aunque principalmente está a cargo del estado, se consideró el porcentaje atribuible al consumo final del sector industrial y comercial que representa el 65% de la matriz eléctrica en el 2015 (SENER, 2019). Mediante los datos del Inventario del año 2015, se calculó que al menos un 33% de las emisiones de GEH en México son atribuibles al sector privado.

Calculamos este valor con datos de menos de dos años después de aprobarse la Reforma Energética, que permite la participación del sector privado en áreas que antes eran exclusivas del gobierno, como la extracción de hidrocarburos, la petroquímica primaria⁵, la distribución y comercialización de energía (SENER, 17 de junio de 2015). Por lo tanto, se espera que, además del aumento esperado en las emisiones por desarrollo de la industria y crecimiento del país⁶, la proporción de las emisiones asociadas al sector privado crezca⁷. Este estudio, nos permite entender la importancia de la participación del sector privado en particular para cumplir con los objetivos de mitigación de gases de GEH.

Por otro lado, para entender la participación en la acción climática nacional del sector privado, dividimos este estudio en dos grandes grupos: sector privado directamente asociado a mitigación y adaptación, y el resto de los organismos de administración privada. El primer grupo está constituido por todas las empresas dedicadas a las energías renovables, al manejo sustentable de agua o residuos, y de consultoría, entre otras. El segundo grupo lo constituyen todas las empresas que, aunque su giro empresarial no está directamente enfocado a reducir el impacto del CC, su participación es clave para alcanzar los objetivos nacionales en la materia.

En parte gracias a los instrumentos financieros y de mercado establecidos en la LGCC y la LTE, en México hay cada vez más empresas nacionales y extranjeras enteramente dedicadas a actividades de mitigación o adaptación. Por ejemplo, el Financiamiento para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía, que incluye la posibilidad de pagar las deudas por instalación de sistemas sustentables mediante la facturación de suministro de energéticos, ha permitido que nazcan y se desarrollan más de 600 empresas que instalan paneles solares para consumo industrial o residencial (Proméxico, GIZ, & IER, 2017), convierten coches de gasolina o diésel a gas natural, o instalan sistemas de eficiencia energética. Y la apertura de la capacidad de producción eléctrica integrada en la Reforma Energética, ha permitido la

⁵ Producción de energéticos como el gas natural y las gasolinas

⁶ Proyectado en un 15% entre 2013 y 2030 si se cumple con el objetivo de la reducción de 22% de GEI respecto a la línea base establecido en las INDCs en el año 2015

⁷ Según un estudio se espera un crecimiento de 10% en la proporción de emisiones del sector privado entre el 2010 y el 2020 (CESPEDES y WWF, 2014)

asignación de 52 proyectos de energías limpias a gran escala entre 2016 y 2017. En efecto, el sector de las energías renovables es uno de los que presentan (y promete seguir presentando) el mayor crecimiento en cantidad de empleos, empresas e inversión⁸. La mayoría de estas empresas se dedican a la instalación o comercialización de tecnologías a pequeña o gran escala, aunque también existen empresas que manufacturan los diferentes tipos de sistemas y, en menor cantidad, empresas que desarrollan la tecnología en el país (ProMéxico, 2018). Estas empresas generalmente forman parte de alguna asociación nacional, lo que les permite intercambiar y generar oportunidades y conocimientos y ejercer presión política para potenciar el crecimiento de su sector. De los principales tipos de energía renovables, existe al menos una asociación de industriales. Las más grandes son de energía solar como ASOLMEX, ANES y la de energía eólica AMDEE. También existen algunas que buscan reunirlos a todas sin discriminar el tipo de renovable, como la Asociación Mexicana de Energía. Estas asociaciones no buscan establecer metas o coordinar los esfuerzos de las diferentes empresas, sino contribuir con el desarrollo de un terreno fértil para que su sector alcance su mayor potencial.

Las empresas que no se dedican directamente a acciones de adaptación o mitigación contribuyen con la acción climática de diferentes maneras. Las industrias con una alta intensidad energética, cuyas emisiones están directamente contabilizadas en el Registro Nacional de Emisiones, como la acerera, cementera o azucarera, o con un gran volumen de emisiones no asociadas a la energía, como la de los minerales, tienen objetivos de mitigación precisos establecidos en las INDCs. En efecto, México se comprometió a una reducción de un 5% de las emisiones de la industria respecto a la línea base en 2030 (Gobierno de la República, 2015). Para determinar esa cifra, el INECC se reunió con las diferentes cámaras industriales a negociar la reducción específica por sector. Estas cámaras constituyen el principal mecanismo de coordinación de este tipo de actor en la lucha climática. Existen para las principales industrias como CAMIMEX de acero, y también hay algunas que conjuntan diferentes como CANACINTRA. De esta manera, pueden establecer un frente común para asegurar que se representen sus intereses y que las acciones gubernamentales permitan un desarrollo más sustentable de su sector industrial sin poner en riesgo su crecimiento. Para lograr que las industrias cumplan con los objetivos de mitigación, el INECC asesora para que se establezcan normas y reglamentos de los equipos y procesos que utilizan en las NOM. Por otro lado, las empresas con menor intensidad energética y de emisiones deben reducir su impacto asociado a consumo de energía o desechos, apoyados por legislación, facilidades financieras públicas o privadas y otras empresas que lo permiten produciendo los bienes o servicios a precios competitivos.

⁸ La inversión en energías renovables en México creció más de 8 veces en 2017 respecto a 2016, colocándolo entre los 10 países con más inversión en el sector (“Clean Energy Investment 2018 | Bloomberg NEF”, 2018).

Tabla 4 | NDCs de emisión de GEH [MtCO_{2e}]

	Medidas	Línea base	Meta	Reducción incondicionada
	2013	2030	2030	
Transporte	174	266	218	18%
Generación de electricidad	127	202	139	31%
Comercial y Residencial	26	28	23	18%
Gas y petróleo	80	137	118	14%
Industria	115	165	157	5%
Agricultura y ganadería	80	93	86	8%
Residuos	31	49	35	29%
Manejo de tierra	32	32	-14	144%
Total	665	973	762	22%

Fuente: Compromisos de cambio climático (de la República, 2015)

Academia

La universidad, como el principal organismo para la creación de conocimiento y formación de profesionales, juega un papel fundamental en el combate climático. Aunque los universitarios representan una pequeña fracción de la población⁹, cuentan con la mayor cantidad de herramientas para transformar el país, Por lo tanto es importante que su educación esté complementada con elementos de sustentabilidad y CC. Además, existen cada vez más carreras y especializaciones enteramente enfocadas a actividades de mitigación y adaptación, como las Ingenierías en Energías Renovables, Ambientales o en Desarrollo Sustentable y las especialidades en Derecho Energético o Políticas del Cambio Climático.

Con el marco legislativo del CC, se establece enfrentar y mitigar sus efectos como una de las más importantes prioridades nacionales, lo que impulsa la canalización de muchos recursos para fomentar investigación en ese sentido. Los fondos de Cambio Climático, Transición Energética, y de Sustentabilidad Energética son los principales mecanismos construidos para potenciar la formación de recursos humanos y la investigación en proyectos relacionados. Uno de los proyectos más grandes, financiado principalmente por el Fondo de Sustentabilidad Energética, son los CEMIEs, con una inversión de más de 3,000 millones de pesos, que integra a investigadores y centros de investigación de todo el país. Además de los impulsos desde el gobierno para direccionar, fondar y coordinar la investigación en la materia, existen iniciativas desde las universidades con los mismos objetivos, como la Clima-red, la coalición UC3, y el Centro Virtual de CC. También existen iniciativas para aumentar la vinculación entre la academia y la industria, lo que se considera desde la ENCC como un factor clave para el cumplimiento de sus objetivos. Finalmente, existen centros de

⁹ 17% de la población entre 25 y 64 años cuenta con una educación universitaria en 2016, lo que representa el porcentaje más bajo de todos los países de la OCDE (2017a, 2017b)

investigación académicos no universitarios que son fondeados por el sector privado y público y generan un volumen importante de los conocimientos en el tema, como el Centro Mario Molina para Estudios Estratégicos sobre Energía y Medio Ambiente, entre otros

Sociedad Civil

Para los fines de este estudio, sociedad civil se puede entender como la agrupación de individuos sin fines de lucro que buscan organizarse para exigir, opinar o actuar en ámbitos de la vida pública o del sector privado. Cuando en el contexto de negociaciones internacionales o de ejercicios jurídicos se habla de consulta civil, generalmente se refiere a recibir la opinión de este tipo de agrupaciones, para asegurar que se representen la mayor cantidad de puntos de vista e intereses. Un ejemplo de esto son las asociaciones civiles Reforestamos México y Fundación México Desarrollo Sustentable que participaron con la delegación mexicana en la COP 21 en París, o las que participaron en la realización del marco legislativo descrito en este capítulo. En especial en la LGCC y la ENCC, se menciona en diferentes ocasiones la importancia de la participación social en el combate climático: “Es fundamental consolidar alianzas entre sociedad y gobiernos, con el objetivo de crear un frente común contra el cambio climático.”(CICC, 2013). Por otro lado, la ENCC, reconoce en su segundo principio rector de la política nacional el concepto de corresponsabilidad entre estado y sociedad, refiriéndose tanto a las causas como la manera de enfrentar la crisis climática nacional. En efecto, además de la importancia de la intervención de la sociedad en los procesos políticos de acción climática, las acciones individuales y colectivas que los mexicanos pueden llevar a cabo para contribuir con el cumplimiento de los objetivos de CC son de gran importancia. Como la disminución y los cambios en el consumo; la disminución y mejor manejo de desechos y desperdicios; cambios en los medios y patrones de transporte; y cuidado ambiental, entre otras.

Actores internacionales y extranjeros

Es muy común que organismos de cooperación internacional de gobiernos de países desarrollados, participen en las agendas climáticas de países en vías de desarrollo. Por ejemplo, la ENCC menciona y agradece la participación en su redacción de dos agencias alemanas, una estadounidense, y la embajada del Reino Unido. Estas acciones de cooperación están inscritas en el marco de las convenciones internacionales sobre el cambio climático que fomentan el apoyo e intercambio intelectual “norte sur”, y que responden en parte al concepto de justicia climática¹⁰. En efecto, los 3 documentos estudiados en este capítulo (LGCC, LTE y ENCC), reconocen la participación de agencias de cooperación de gobiernos extranjeros. Estos organismos generalmente cuentan con un amplio financiamiento y personal especializado para apoyar a gobiernos locales con el desarrollo e implementación de sus

¹⁰ Derivado de la relación positiva entre desarrollo y emisiones, se entiende y reconoce que los países desarrollados (catalogados como Annex I en documentos de la UNFCCC) son los que tienen mayor participación en el volumen de GEH actual en la atmósfera y por lo tanto responsabilidad diferenciada en las consecuencias del CC en todo el mundo. Particularmente con los países en vías de desarrollo que contribuyeron en menor medida con las causas del CC, pero cuentan con menor capacidad para lidiar con sus consecuencias.

políticas para acompañar y potenciar su desarrollo manteniendo niveles de emisiones reducidos. Los organismos de cooperación internacional también generan y financian proyectos, muchos de ellos orientados al combate climático. Como la agencia de cooperación internacional de Estados Unidos USAID, que solo en 2017 gastó 51 millones de dólares en México de los cuales su segundo gasto más importante fue para financiar proyectos de protección ambiental (USAID, 2018).

Como todos los actores mexicanos no gubernamentales mencionados, existen instituciones internacionales o extranjeras que juegan papeles similares. Por ejemplo: dos organizaciones de la sociedad civil internacionales (WWF y TNC group) participaron como asesores en la LGCC; a empresas extranjeras pertenece el 91% del total de la capacidad instalada de energías renovables asignada en las subastas a largo plazo en 2018 (SENER, 2017); y proyectos de investigación académica que se realizan en conjunto con universidades o investigadores extranjeros, como el Reto de Materiales de Mission Innovation compartido por México, Estados Unidos y Canadá.

Vulnerabilidad en México

Esta sección pretende presentar el concepto de vulnerabilidad, su papel central como elemento de la evaluación y acción para la adaptación y finalmente la vulnerabilidad actual de la población mexicana y su territorio. Se concluirá con los principales retos que México debe enfrentar para disminuir el impacto del CC en el país para sentar las bases del estudio de las necesidades tecnológicas que se detonarán de estos retos.

La vulnerabilidad, al contrario de otros acercamientos a la acción climática para adaptación como el orientado a impactos, reconoce que la medida en la que el cambio climático impacte una sociedad no solo depende de los eventos físicos asociados sino también de las condiciones sociales, económicas, culturales, ambientales y políticas de esa población (IPCC. Working Group II, 2014). Cualquier evento climático puede representar una amenaza para el bienestar, pero la medida en la que afecta depende de las condiciones sociales y productivas de esa comunidad y su infraestructura y herramientas disponibles para enfrentarlo (Harvey, 1996). Estas condiciones representan la vulnerabilidad frente al cambio climático. Más puntualmente el IPCC define el concepto como “grado en que los sistemas pueden ser afectados de forma adversa por el cambio climático e incluye la capacidad o su falta para afrontar sus efectos y adaptarse” (Allen et al., 2014). Para evaluar la vulnerabilidad de un sistema, por un lado, se proyectan los posibles efectos biofísicos futuros del CC pero también la propensión de ese sistema a sufrir afectaciones por esos fenómenos. Cada país tiene poco o nulo control sobre los efectos biofísicos del clima, pero control absoluto sobre la mayoría de las condiciones que permiten al CC y otras fuerzas externas, afectar el bienestar de su población. México y la mayoría de los países firmantes de los acuerdos de París, consideran como el principal imperativo de sus acciones de adaptación la disminución del grado de vulnerabilidad de su población, mejorando sus condiciones sociales, económicas y políticas. De este modo, la acción climática en adaptación no depende solamente de las complejas proyecciones mediante modelos climáticos que en la mayoría de los casos

conlleven una gran incertidumbre. En cambio, se enfoca en aumentar la calidad de vida de todas las personas y asegurar que esta sea lo menos dependiente posible de cualquier estímulo climático, como disminuir la pobreza, mejorar la infraestructura de sanitización y aumentar la equidad de género. Por esta razón, la disminución de la vulnerabilidad está asociada con los objetivos de desarrollo sostenible lo que lleva a muchos autores como Naomi Klein (2014) a afirmar que la acción climática en adaptación es un imperativo para todas las naciones independiente de los esfuerzos en mitigación.

Cómo se mide la vulnerabilidad

El IPCC en 2007 propuso una metodología, sintetizada en la Figura 6, que permite medir la vulnerabilidad de cada país para realizar comparaciones y sobre todo evaluar el progreso e impacto de políticas y acciones climáticas. La metodología considera que la vulnerabilidad está en función de la exposición, la sensibilidad y la capacidad adaptativa. Estas componentes se pueden calcular para cualquier sistema, población o sector, evaluando distintos indicadores clave. En la Tabla 5 se definen estos tres conceptos junto con un ejemplo de indicador que puede permitir evaluar las tres componentes para la vulnerabilidad en el sector infraestructura, en particular en las zonas costeras.

Tabla 5 | Definiciones de componentes de la vulnerabilidad

Componentes de la vulnerabilidad	Definición	Ejemplo de indicador
Exposición	Presencia de personas, vida, servicios y recursos ambientales, infraestructura o activos económicos, sociales o culturales en lugares que pueden ser afectados de manera adversa por el CC.	Proyección de aumento del nivel del mar
Sensibilidad	Hace referencia al grado en que un sistema resulta afectado, positiva o negativamente, por la variabilidad o el cambio climático.	Cantidad de población que vive a menos de 5 metros del nivel del mar
Capacidad adaptativa	Es la habilidad de los ecosistemas de ajustarse al cambio climático (incluida la variabilidad del clima y sus extremos) para moderar daños potenciales, tomar ventaja de las oportunidades, y hacer frente a sus consecuencias.	Calidad de la planeación y protocolos en caso de evento hidrometeorológico extremo

Fuentes: Elaboración propia

Para ejemplificar se puede resumir la tabla de este modo: si se espera que el nivel del mar puede aumentar en una zona poblada, esa población se considera *expuesta* al cambio climático; pero solo si las condiciones de la infraestructura (hospitales, casas, escuelas, granjas, etc) de esa zona pueden ser afectadas por el aumento del nivel del mar por su

ubicación, esa población es *sensible*; aunque si existe una planeación efectiva para reaccionar en caso de que el nivel del mar aumente o se presente algún evento asociado a ese fenómeno, esa población tiene una *capacidad adaptativa* alta lo que la hace menos *vulnerable*.



Figura 6 | Metodología de evaluación de la vulnerabilidad
Fuente: INECC

Todos los elementos de la vulnerabilidad se pueden evaluar para el pasado, presente y futuro. La vulnerabilidad actual y pasada se evalúa con diferentes metodologías

basadas en mediciones del clima observado y evaluación de condiciones de la población. La vulnerabilidad futura se evalúa mediante proyecciones de las condiciones de la población estudiada (como crecimiento poblacional, evolución del PIB, etc) y de escenarios de cambio climático que permiten estimar los posibles fenómenos físicos futuros del CC para deducir los valores de exposición futura potencial. Estos escenarios se construyen con modelos climáticos que dependen de las relaciones entre un conjunto de variables climáticas internamente coherentes¹¹ (como la temperatura, precipitación, cantidad de hielo, etc) y una estimación de las concentraciones de GEI en la atmósfera o un aumento en la temperatura global promedio que dependen del nivel de acción global de mitigación proyectada (Gay,

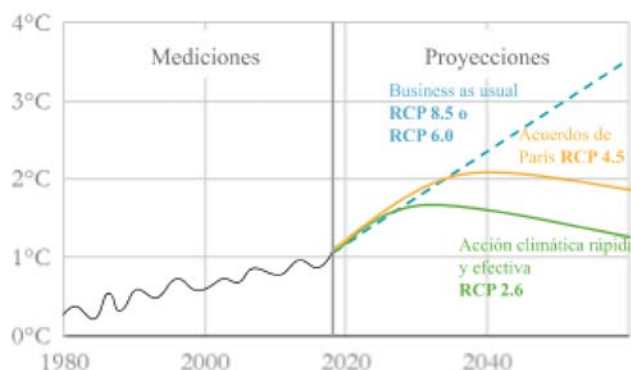


Figura 7 | Escenarios de aumento de temperatura
Fuente: Elaboración propia

Gutierrez, & Tatiana Peña Ledon, 2015). Las estimaciones más comunes se muestran en la Figura 7, y son para un calentamiento global de 1.5°C o menos, 2°C y +2°C, que representan respectivamente acción climática global rápida y efectiva, cumplimiento de los Acuerdos de París, y sin acción climática (conocido en inglés como Business as usual). Estos escenarios también se generan comúnmente mediante las Trayectorias de Concentraciones

Representativas (RCP por sus siglas en inglés), que el IPCC ha dividido en 4 (2.6, 4.5, 6.0, y 8.5) nombrados así por el grado de forzamiento radiativo de la concentración atmosférica de CO₂ proyectada para 2100 (IPCC, 2019).

¹¹

Por otro lado, existe un esfuerzo global liderado por la Universidad de Notre Dame y apoyado por el IPCC que realiza mediciones sistemáticas, robustas y periódicas de la mayoría de los países del mundo mediante información de diversas instituciones locales o internacionales para evaluar la vulnerabilidad. Esta institución publica anualmente un valor llamado Índice Global de Adaptación (ND-GAIN) evaluado en 2016 para 184 países. Como se muestra en la Figura 8, este índice se basa en la metodología del IPCC, pero agrega un valor de Preparación que integrado con las componentes de vulnerabilidad permite informar sobre la relevancia, facilidad y capacidad de adaptación de un país. Evalúa seis sectores clave (salud, alimento, hábitat, agua e infraestructura) mediante seis indicadores cada uno asociados a los tres componentes de la vulnerabilidad. La preparación, se evalúa con tres componentes (social, económica y gubernamental) y cuatro indicadores para cada uno. (Chen et al., 2015). Este índice es actualmente un referente global que se utiliza en todo el mundo para apoyar en la toma de decisiones y la investigación.

















Figura 8 | Metodología del ND-GAIN
Fuente: ND-GAIN Conceptual Framework

Riesgos

Aunque el enfoque de vulnerabilidad se concentra principalmente en el contexto social, económico y político para la selección de medidas de adaptación, es importante considerar los efectos físicos potenciales del cambio climático en el territorio. Se evalúan por medio de metodologías de desescalamiento de los modelos climáticos globales para poder hacer predicciones en zonas cada vez más pequeñas (Gay & Abad, 2015). Estos procesos implican incertidumbre y dependen en gran medida de acciones futuras por lo que es necesario que se actualicen continuamente y se relacionen con los cambios medidos para aumentar su confiabilidad. En la Tabla 6 se presentan algunos de los riesgos con mayor consenso científico recopilados por SEMARNAT y la Tabla 7 explica los grados de riesgo y confiabilidad y su simbología asignada a cada impacto proyectado. Los cambios proyectados son con respecto a los promedios de temperatura y precipitación del periodo 1961-1990.



Tabla 6 | Impactos del cambio climático proyectados en sectores prioritarios de México

Sistemas o sectores	Impactos proyectados
Agricultura  	Disminución de la productividad del maíz para la década del 2050, lo que se suma al problema actual del 25% de las unidades de producción con pérdida de fertilidad de suelos . Existe cierta evidencia de que la mayoría de los cultivos resultan menos adecuados para la producción en México hacia 2030.
Hídrico  	La mayor parte del país se volverá más seca y las sequías más frecuentes , con el consecuente aumento de la demanda de agua particularmente en el norte del país y en zonas urbanas .
Hídrico  	En algunas regiones la precipitación podría ser más intensa y frecuente incrementando el riesgo de inundaciones para alrededor de 2 millones de personas que actualmente se encuentran en una situación moderada a alta vulnerabilidad ante las inundaciones y quienes residen en localidades menores a 5 mil habitantes, ubicadas principalmente en la parte baja de las cuencas, sumando al riesgo de deslizamiento de laderas por lluvia
Costero  	El aumento del nivel del mar constituye un peligro para los sectores residencial y de infraestructura en zonas costeras . Por otro lado los sectores hídrico y agrícola podrían verse afectados por la intrusión salina .
Tormentas y clima severo  	Hay consenso sobre la intensidad de los ciclones en el noroeste del Pacífico y en el Atlántico norte . Sin embargo, las incertidumbres en cuanto a los cambios y la intensidad complican estimar sus impactos en el país. Se prevé que a mayor número e intensidad de tormentas, los impactos podrían tener mayores consecuencias sociales y económicas.
Ecosistemas y biodiversidad  	En ecosistemas terrestres un ejemplo del impacto del CC es al posible reducción del área cubierta por bosques de coníferas, especies de zonas áridas, semiáridas y especies forestales de zonas templadas. En el caso de los océanos, un aumento en la temperatura puede ocasionar un colapso demográfico en las poblaciones marinas , ocasionando baja productividad para las pesquerías. En el caso de mamíferos terrestres y voladores, se proyecta al 2050 una reducción de cerca de la mitad de las especies estudiadas perdiendo más del 80% de su rango de distribución histórica.
Infraestructura estratégica  	16% de las unidades médicas, 20% de los planteles educativos, 11% de la red federal de carreteras, 23% de los puertos, 165 de los aeropuertos se ubican en zonas de alto peligro y vulnerabilidad . Es necesaria más investigación sobre el impacto del CC en infraestructura turística, de energía, de comunicaciones y transportes que se pueden ver afectadas por el aumento en el número e intensidad de ciclones tropicales y mareas de tormenta más intensas.

Fuente: Semarnat. Programa especial de Cambio Climático 2014 - 2018. México. 2014

Tomada de: apps1.semarnat.gob.mx:445/dgeia/informe_resumen14/05_atmosfera/recuadro3.html

Tabla 7 | Descripción de grado de impacto y nivel de confianza

<p style="text-align: center;">Grado de impacto</p> <p>Medida subjetiva basada en el juicio de expertos que considera la magnitud del impacto proyectado, la vulnerabilidad y la capacidad para hacerle frente.</p>	
<p style="text-align: center;">Nivel de confianza</p> <p>Medida subjetiva basada en el juicio de expertos que considera la calidad de la evidencia científica detrás de cada proyección y el nivel de consenso entre diferentes estudios del mismo tema.</p>	

Fuente: SEMARNAT

Existen más trabajos con predicciones de efectos del CC en México, pero en esta sección no se pretende profundizar más ya que se considera que se requiere más investigación pero sobre todo que es necesario concentrarse en la reducción de vulnerabilidad antes que pretender conocer con certeza y precisión todos los posibles efectos del CC en el territorio mexicano. En el caso general, se tiene alta confianza en el aumento generalizado de la temperatura en el país y los efectos asociados (ondas de calor, disminución de rendimiento agrícola, pérdida de hábitat terrestre y marino), aumento de sequías, inundaciones, deslizamientos y transmisión de enfermedades por mosquitos (CICC, 2013). Actualmente hay fenómenos que ya se han medido y por lo tanto se espera que la tendencia se mantenga y se continúen intensificando como la desertificación, los cambios en la precipitación, aumento de incendios, desaparición de glaciares, aumento del nivel del mar y el aumento frecuencia e intensidad de ciclones, huracanes y tormentas (CICC, 2013; Gobierno de la República, 2014; IPCC. Working Group II, 2014). Estos efectos continuarán intensificándose hasta niveles cada vez más peligrosos con un aumento global de 1.5°C y más aún con 2°C.

Vulnerabilidad desigual en el interior de la República

Como parte de la CMNUCC, México adoptó la metodología del IPCC para medir la vulnerabilidad en la LGCC y responsabilizó al INECC de realizar o supervisar mediciones y monitoreo de la vulnerabilidad a nivel municipal, estatal y federal (Gobierno Federal, 2012).

Distintos autores y organismos evaluaron la vulnerabilidad de todos los municipios de México para apoyar con el diseño de políticas públicas locales y federales. El INECC en 2016 generó una estimación de los municipios de México más vulnerables, sintetizada en la Tabla 8 integrando los resultados de tres de los estudios más relevantes en la materia¹². En ese estudio se expone que 480 municipios presentan vulnerabilidad actual alta o muy alta, lo que representa cerca del 20% del total de los municipios mexicanos. La Tabla 9 muestra los 13 estados que concentran la mayor vulnerabilidad del país, los cuales podrían enfrentar los

¹² *Gestión de Riesgos ante el Cambio Climático y Diagnóstico de Vulnerabilidad* (INECC, 2013); *Vulnerabilidad y adaptación a los efectos del cambio climático en México* (Gay, 2013) y *Two methods to assess vulnerability to climate change in the Mexican agricultural sector* (Monterroso et al., 2013). Los tres estudios presentan resultados y metodologías similares lo que valida su integración en el trabajo del INECC.

mayores retos de adaptación. La vulnerabilidad de estos municipios se debe a diferentes razones. Por un lado la pobreza es uno de los factores que vuelve más sensible a una población frente a los efectos del cambio climático. En efecto los 8 estados marcados en negritas son de los 13 estados más pobres de la república (CONEVAL, 2017). Otras condiciones sociales que explican la vulnerabilidad de esos estados es su dependencia de fuentes de trabajo vulnerables. Por ejemplo, Oaxaca y Chiapas son los dos estados con mayor población campesina (INE, 2014). Por otro lado, distintas condiciones climáticas, geográficas y ambientales contribuyen con la vulnerabilidad de los estados aumentando su exposición.

Tabla 8 | Distribución de municipios mexicanos por grado de vulnerabilidad

Grado de vulnerabilidad	Municipios
Muy baja	68
	3%
Baja	1020
	42%
Media	888
	36%
Alta	405
	16%
Muy alta	75
	3%
Total	2456

Por ejemplo, 10 de los 13 estado más vulnerables tienen costa lo que los expone a los fenómenos asociados al aumento del nivel del mar. De éstos, Yucatán es el estado más expuesto a eventos climáticos extremos como lluvias torrenciales, huracanes e inundaciones (Orellana, Espadas, Conde, & Gay, 2009).

Fuente: gob.mx/inecc/acciones-y-programas/vulnerabilidad-al-cambio-climatico-en-los-municipios-de-mexico

Tabla 9 | Total de municipios por clase de vulnerabilidad "Muy alta" y "Alta"

Entidad federativa	Vulnerabilidad al cambio climático			Porcentaje de municipios respecto al total estatal
	Muy alta	Alta	Total	
Oaxaca	30	166	196	34%
Puebla	9	40	99	23%
Chiapas	29	56	85	72%
Veracruz	4	57	61	29%
Guerrero	1	32	33	41%
Yucatán	1	16	17	16%
Hidalgo	0	15	15	18%
San Luis Potosí	1	13	14	24%
Tabasco	0	4	4	24%
Chihuahua	0	2	2	3%
Sonora	0	2	2	3%
Baja California	0	1	1	20%
Quintana Roo	0	1	1	11%
Total	75	405	480	

Fuente: INECC

Vulnerabilidad de México frente al mundo

Utilizando los datos del 2016, los más recientes publicados por la Universidad de Notre Dame del ND-GAIN, se realizó un estudio comparativo, resumido en la Ficha 3, de la vulnerabilidad y el potencial adaptativo de México frente al mundo y diferentes grupos de países, excluyendo los países reconocidos por la UNFCCC como países menos desarrollados (LDC por sus siglas en inglés). Estos países se retiraron de los datos ya que representan generalmente las puntuaciones más negativas en cada indicador y deben estudiarse por separado.

La principal comparación fue con los países de América Latina con extensión principalmente continental (Latam continental)¹³. Decidimos realizar comparaciones con esta región porque comparte cultura, historia, condiciones económicas y contextos políticos. Por lo tanto es un grupo con retos de adaptación similares y en muchos casos ligados, además de mucho potencial para cooperación interna. Se excluyeron los países isleños porque los riesgos potenciales en esos países no son comparables con los de países con menor fracción de extensión costera y población que habita a bajas altitudes y está expuesta a fenómenos hidrometeorológicos extremos.

¹³ Argentina, Bolivia, Brazil, Chile, Colombia, Ecuador, El Salvador, Guatemala, Honduras, Mexico, Nicaragua, Panama, Paraguay, Perú, Uruguay, Venezuela.

Por otro lado, también realizamos comparaciones con países miembro de la Organización de Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) del cual México forma parte desde 1994. Aunque se reconoce que México no tiene el mismo nivel de desarrollo que los países fundadores¹⁴, la organización busca crear una relación de cooperación e intercambio horizontal y multilateral entre sus miembros (Gurría, 16 de junio de 2009). Este grupo nos permite comparar con los países más desarrollados, que representan la mayoría de los países que la UNFCCC reconoce como Annex II. Esto quiere decir los países que contribuyeron en mayor medida a generar las emisiones que se encuentran actualmente en la atmósfera y por consecuencia los países con mayor responsabilidad de ayudar al resto del mundo a lidiar con las consecuencias del CC. Esta comparación se volverá a hacer en el capítulo de innovación ya que los países de la OCDE también representan los países occidentales con mayores niveles de desarrollo y exportación de tecnología y saberes tecnológicos.

Como se observa en la Ficha 3, México se encuentra en el lugar número 75 de 192 países evaluados en el Índice Global de Adaptación, por esto se puede decir que México se encuentra en condiciones de vulnerabilidad promedio respecto al resto del mundo. Se posiciona entre los países menos vulnerables de Latam continental pero entre los más vulnerables de la OCDE. En efecto, el valor de las componentes de la vulnerabilidad se encuentra a menos de una desviación estándar del promedio global a excepción de la sensibilidad que presenta un resultado superior al 77% de los países de la muestra. En las Tablas 10 y 11, se enlistan todos los indicadores medidos para cada componente resaltando en una escala de naranja aquellos con puntuaciones más negativas que representan los retos más importantes. A continuación se describen más a detalle las condiciones para cada componente y sus respectivos retos principales.

Exposición

La intensidad de los efectos potenciales del CC en México es alta comparada con los países más desarrollados de la OCDE y ocupa el quinto lugar frente a los demás países de América Latina continental. Respecto al resto del mundo presenta valores casi idénticos a Liberia, Vanuatu y el Congo. El sector más expuesto es el de alimentos, donde se proyecta que la variabilidad del clima podría disminuir en gran medida las cosechas, en particular la del maíz. Se proyecta un impacto importante en los ecosistemas con una fracción considerable de extensión terrestre que podría cambiar de bioma en el futuro y una afectación con la calificación más negativa posible en el cambio de biodiversidad marina que considera extinciones de poblaciones locales e invasión de especies exóticas. En el sector salud se espera un aumento considerable de las enfermedades transmitidas por mosquitos. Se proyectan cambios importantes en la disponibilidad de agua por disminución de precipitación y

¹⁴ Australia, Austria, Bélgica, Francia, Canadá, Dinamarca, Estonia, Finlandia, Francia, Alemania, Grecia, Islandia, Irlanda, Italia, Japón, Luxemburgo, Holanda, Nueva Zelanda, Noruega, España, Suecia, Suiza, Turquía, Reino Unido, Estados Unidos. Más adelante se sumaron Polonia, Hungría, Corea, La República Checa y Eslovaquia, Chile, Estonia, Eslovenia, Israel, Rusia

aumento de la evaporación. Finalmente se espera un aumento en los peligros asociados a inundaciones.

Sensibilidad

Según ND-GAIN, México es el doceavo país con menor sensibilidad a los efectos del CC. Ocupa el tercer lugar en Latam continental después de Colombia y Venezuela y el octavo lugar frente a la OCDE. Las principales razones que justifican la alta calificación es un porcentaje bajo de población que vive a menos de 5 m sobre el nivel del mar, y una alta independencia hídrica, que se refiere a la proporción del agua renovable que se origina fuera del país. Los principales retos en materia de sensibilidad son disminuir la dependencia energética y de alimentos. Por otro lado, se encontraron irregularidades en dos de las calificaciones. En la proporción de la población urbana en alta marginación donde el ND-GAIN registra una calificación de 0 mientras que el indicador al que referencia señala una calificación de 0.116 en 2014. La calificación de dependencia de capital natural que considera la participación de la explotación de recursos naturales en la economía y el bienestar de la población no se ha actualizado desde el 2005 y la fuente no está disponible.

Capacidad adaptativa

México ocupa el lugar número 57 en el mundo, el número 6 respecto a Latam continental y el 33 en la OCDE respecto a su disponibilidad de recursos sociales que permiten adaptación, en particular para implementar soluciones sustentables e innovadoras. Sus principales retos se encuentran en la capacidad de implementar y adquirir tecnologías en la agricultura y en la cantidad de personal médico por cada 100 habitantes, ambas con calificaciones por encima de 0.8 para ambos indicadores. Otras áreas de oportunidad se encuentran en la protección de recursos biológicos y en mejorar la infraestructura de transporte.

Preparación

En esta componente, una calificación alta representa mejores condiciones para lidiar con el CC. México ocupa el lugar 89 respecto a su capacidad para convertir inversiones en acciones de adaptación efectiva. En Latam continental ocupa el puesto número 7 mientras que en la OCDE presenta la calificación más baja. Comparte calificación casi idéntica a Marruecos Kirguistán y Colombia. Su calificación de la facilidad de hacer negocios es baja, la cual considera diferentes etapas de iniciar y mantener una empresa, desde conseguir los permisos hasta hacer cumplir contratos. Su calificación del entorno gubernamental también es baja en especial por la falta de control de la corrupción, la violencia y las dificultades para que las leyes se apliquen. El entorno social es el que presenta la calificación más baja de la preparación con calificaciones muy bajas en la igualdad social y la proporción de la población que lleva a cabo estudios universitarios. Pero la más baja calificación de todas las componentes es en Innovación con niveles similares a Siria, Sri Lanka y Bosnia

Herzegovina. Este indicador sólo evalúa los registros de patente per cápita, que aunque como veremos en la sección de medir la innovación esta metodología es muy limitada, sin embargo “existen numerosos estudios que describen la relación positiva del patentamiento, como proxy de la innovación y los factores que la explican” (Giménez, del Pilar Pastor Pérez, & Malacara Hernández, 2017). Por lo que esta calificación tan baja es relevante y refleja la problemática principal que se trata en esta tesis.

Tabla 10 | Calificación de indicadores de preparación del ND-GAIN

Componente	Sector	Indicador	Calificación	Promedio
Preparación	Económica	Facilidad para hacer negocios	0,48 2	0,392
	Gubernamental	Estabilidad política y no violencia	0,43 8	
		Control de la corrupción	0,25 2	
		Calidad del diseño e implementación de leyes	0,57 0	
		Estado de derecho	0,41 2	
	Social	Desigualdad social	0,36 6	
		Infraestructura de tecnologías de la información y comunicación	0,43 6	
		Educación	0,24 9	
		Innovación	0,04 9	

Una calificación alta es mejor

Fuente: ND-GAIN, Universidad de Notre Dame

Tabla 11 | Calificaciones por componente de indicadores del ND-GAIN

Componente	Sector	Indicador	Calificación	Promedio
Exposición	Agua	Cambio en recarga de agua subterránea	0,200	0,487
		Cambio en precipitación y recarga superficial	0,608	
	Salud	Muertes por enfermedades relacionadas con el clima	0,303	
		Enfermedades transmitidas por vectores	0,658	
	Hábitat	Periodos cálidos	0,167	
		Peligro por inundaciones	0,531	
	Comida	Disminución de cosechas de cereales	0,919	
		Crecimiento poblacional	0,236	
	Infraestructura	Cambio en generación hidroeléctrica	0,435	
		Impacto del aumento del nivel del mar	0,215	
Ecosistemas	Cambio en distribución de biomas	0,576		
	Cambio en biodiversidad marina	1		
Sensibilidad	Agua	Tasa de extracción de agua dulce	0,242	0,253
		Dependencia del agua externa	0,115	
	Salud	Dependencia de recursos externos para servicios de salud	0,012	
		Población en alta marginación	0	
	Hábitat	Concentración urbana	0,086	
		Coficiente de dependencia de edad	0,501	
	Comida	Dependencia de importación de alimentos	0,789	
		Población rural	0,221	
	Infraestructura	Dependencia en importaciones de energía	0,666	
		Población que habita a menos de 5 m sobre el nivel del mar	0,091	
Ecosistemas	Dependencia de capital natural	0,048		
	Huella ecológica	0,265		
Capacidad adaptativa	Agua	Reservas de agua en presas	0,713	0,407
		Acceso a agua potable confiable	0,048	
	Salud	Personal médico	0,872	
		Acceso a infraestructura sanitaria óptimas	0,153	
	Hábitat	Infraestructura de transporte y comercio	0,541	
		Calles pavimentadas	0,627	
	Comida	Capacidad tecnológica en la agricultura	0,815	
		Malnutrición infantil	0	
	Infraestructura	Acceso a la electricidad	0	
		Preparación frente a desastres	0,226	
Ecosistemas	Biomas protegidos	0,355		
	Involucramiento en convenciones ambientales internacionales	0,530		

Una calificación baja es mejor

Fuente: ND-GAIN, Universidad de Notre Dame,

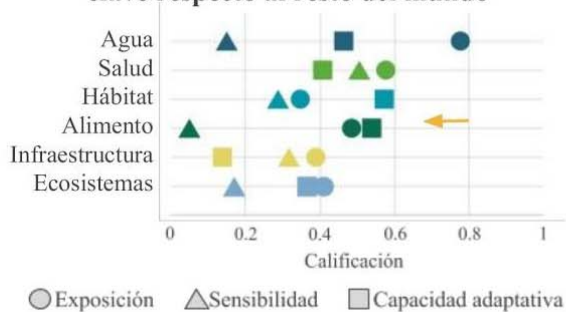
Ficha 3| Vulnerabilidad en México

Análisis basado en el ND-GAIN 2018 de la Universidad de Notre Dame

Índice Global de Adaptación ND-GAIN

Mundo	América Latina
72° Azerbaijan	2° Uruguay
73° Marruecos	3° Argentina
74° Brazil	4° Brasil
75° México	5° México
76° Colombia	6° Colombia
77° Sudáfrica	7° Panamá
78° Panamá	8° Perú

Vulnerabilidad de México en sectores clave respecto al resto del mundo



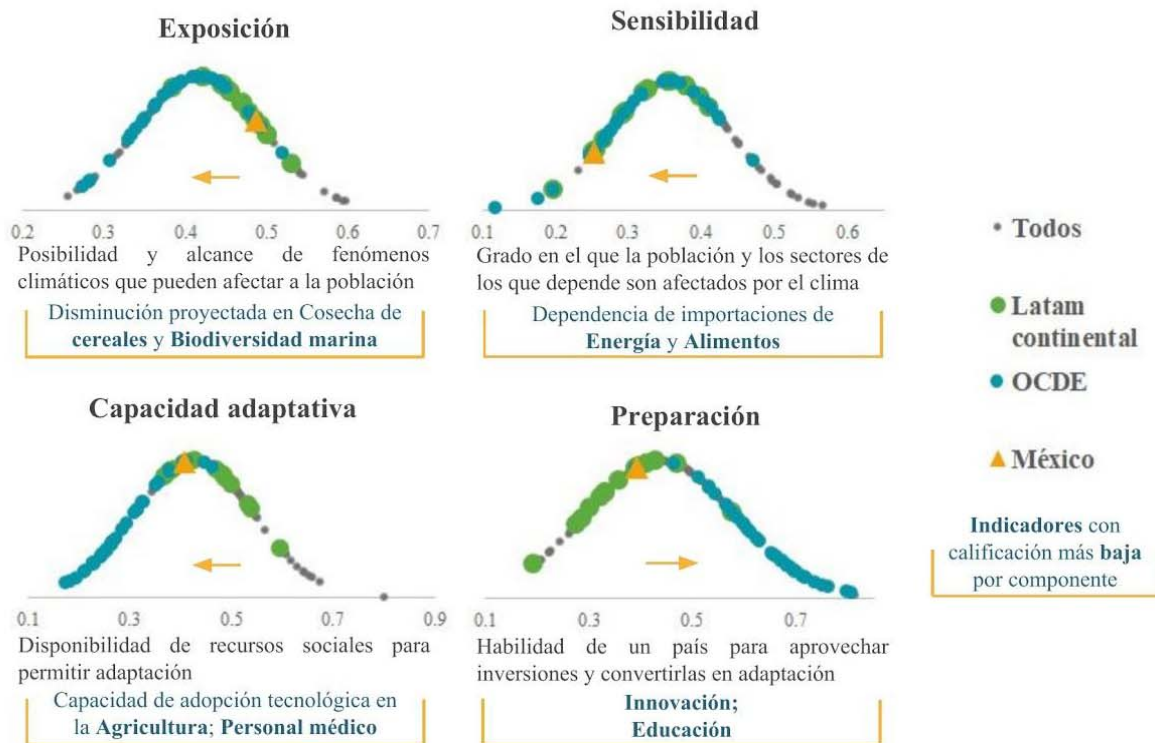
La huella ecológica de cada mexicano excede en **112%** su biocapacidad
<http://data.footprintnetwork.org/#/>

2.1 millones de personas viven a menos de 5 m sobre el nivel del mar
 World Bank Indicators

42% de la población mexicana tiene acceso a servicios de agua potable
<https://data.worldbank.org/indicator/SH.H2O.SMDW.ZS>

Peores → Mejores condiciones para lidiar con el cambio climático

Componentes del ND-GAIN



Resumen

Desde 1993, México ha reforzado su infraestructura para enfrentar la crisis climática permitiendo el desarrollo del país y construyendo la capacidad para lidiar con sus consecuencias. El gobierno, con la asesoría y participación de la academia, la sociedad civil y organizaciones internacionales, ha desarrollado un marco legislativo e institucional que permite conjuntar, dirigir y potenciar los esfuerzos de todos para alcanzar una visión a largo plazo de un país más equitativo, justo, sustentable, capaz de disminuir y enfrentar los efectos del CC. Para alcanzar las metas de mitigación y adaptación, plasmadas en las NDCs y la ENCC se han desarrollado instrumentos políticos, informativos, rectores, económicos, de mercado y financieros que construyen un terreno fértil para que la sociedad, el gobierno, la academia y el sector privado generen acciones concretas en la materia. La sociedad civil, además de su responsabilidad de minimizar o revertir su huella ambiental con consumo responsable, debe exigir y vigilar que el país, se encuentre en la dirección correcta. El sector privado debe reducir su intensidad energética mientras aumenta su capacidad productiva. Además, por la dirección que ha tomado el país hacia un manejo privado de la energía, las empresas son el actor principal en la transición energética. La academia, contribuye con la creación de conocimiento y capital humano y es responsable de formar a los profesionistas que puedan transformar la manera en la que generamos, usamos, distribuimos y desechamos recursos. Por último, una parte importante del combate climático nacional se lleva a cabo con el apoyo y liderazgo de organizaciones extranjeras e internacionales que contribuyen con la implementación, creación de capacidad y conocimientos, asesoría y financiamiento. Aunque la mayoría de este marco normativo e institucional está enfocado a mitigación, existen elementos de una estrategia de adaptación que se estudia más a detalle en el siguiente capítulo.

La evaluación de la vulnerabilidad es necesaria para entender la medida en la que el cambio climático puede afectar a México y las áreas de oportunidad para reducir las pérdidas potenciales en el territorio. Las metodologías de evaluación se basan en tres componentes: la *exposición* que se relaciona con los impactos potenciales proyectados, la *sensibilidad* que depende de las condiciones sociales, económicas y políticas de la población estudiada, y la *capacidad adaptativa* de de la población que se refiere a un marco institucional que le puede permitir enfrentar los efectos del clima, en algunos casos se evalúa también la *preparación* que se traduce en la capacidad de transformar inversión en acciones efectivas de adaptación. Mediante distintos análisis, encontramos una distribución desigual de la vulnerabilidad en entre los estados y municipios del país con 19% de los municipios que presentan vulnerabilidad alta concentrados principalmente en Oaxaca, Puebla y Chiapas. Mediante el ND-GAIN, encontramos que México se encuentra en niveles de vulnerabilidad promedio respecto al mundo, altos frente a la OCDE y de los más bajos de América Latina continental. En un análisis más a detalle por componente, encontramos importantes retos en materia de seguridad alimentaria y energética, agua, salud pública, protección de ecosistemas marinos y el contexto de violencia y corrupción política. Los principales retos de la *preparación* se encuentran en la educación y la capacidad de innovación, tema que se profundizará más adelante con metodologías más enfocadas.

Bibliografía y anexos

Estado actual de cambio climático

- Bar-On, Y. M., Phillips, R., & Milo, R. (2018). The biomass distribution on Earth. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 115(25), 6506–6511.
- Canadell, J. G., Le Quéré, C., Raupach, M. R., Field, C. B., Buitenhuis, E. T., Ciais, P., ... Marland, G. (2007). Contributions to accelerating atmospheric CO₂ growth from economic activity, carbon intensity, and efficiency of natural sinks. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 104(47),
- Cazenave, A., Lombard, A., & Llovel, W. (2008). Present-day sea level rise: A synthesis. *Comptes rendus: Geoscience*, 340(11), 761–770.
- Change, N. G. C. (2018a). Arctic sea ice minimum | NASA Global Climate Change. Recuperado el 23 de octubre de 2018, de <https://climate.nasa.gov/vital-signs/arctic-sea-ice>
- Change, N. G. C. (2018b). Sea level | NASA Global Climate Change. Recuperado el 23 de octubre de 2018, de <https://climate.nasa.gov/vital-signs/sea-level>
- Church, J. A., & White, N. J. (2011). Sea-Level Rise from the Late 19th to the Early 21st Century. En *Space Sciences Series of ISSI* (pp. 585–602).
- Climate Clock. (2017). Recuperado el 22 de octubre de 2018, de <http://www.humanimpactlab.com/climateclock/>
- Fifth Assessment Report - Synthesis Report. (2007). Recuperado el 13 de noviembre de 2018, de <http://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/>
- Friedlingstein, P., Andrew, R. M., Rogelj, J., Peters, G. P., Canadell, J. G., Knutti, R., ... Le Quéré, C. (2014). Persistent growth of CO₂ emissions and implications for reaching climate targets. *Nature geoscience*, 7(10), 709–715.
- Haustein, K., Allen, M. R., Forster, P. M., Otto, F. E. L., Mitchell, D. M., Matthews, H. D., & Frame, D. J. (2017). A real-time Global Warming Index. *Scientific Reports*, 7(1), 15417.
- Hoegh-Guldberg et al, O. (s/f). Coral Reefs Under Rapid Climate Change and Ocean Acidification | Kopernio. Recuperado el 4 de abril de 2019, de <https://kopernio.com/viewer?doi=10.1126/science.1152509&route=7>
- IPCC. (2016). *Aggregate effect of the intended nationally determined contributions: an update*. Recuperado de <https://unfccc.int/sites/default/files/resource/docs/2016/cop22/eng/02.pdf>
- IPCC. (2018). *Global warming of 1.5°C*. Recuperado de http://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/sr15/sr15_draft.pdf
- Kleypas, J. A., Mcmanus, J. W., & Meñez, L. A. B. (1999). Environmental Limits to Coral Reef Development: Where Do We Draw the Line? *Integrative and comparative biology*, 39(1), 146–159.
- UN Atlas of the Oceans: About. (2018). Recuperado el 12 de noviembre de 2018, de <http://www.oceansatlas.org/about/en/>
- Waller, N. L., Gynther, I. C., Freeman, A. B., Lavery, T. H., & -P. Leung, L. K. (2017). The Bramble Cay melomys *Melomys rubicola* (Rodentia : Muridae): a first mammalian extinction caused by human-induced climate change? *Wildlife Research*. <https://doi.org/10.1071/wr16157>

Secciones 2 y 3

- Allen, M., Barros, V., Broome, J., Cramer, W., Christ, R., Church, J., ... Yohe, G. (2014). *IPCC fifth assessment synthesis report - Climate Change 2014 synthesis report*. IPCC
- CESPEDES y WWF. (2014). *8%+ Sector privado y crecimiento bajo en carbono en México*. Recuperado de http://www.cespedes.org.mx/wp-content/uploads/2015/03/informe_8pc_wwf_cespedes_final.pdf
- Chen, C., Noble, I., Hellmann, J., Coffee, J., Murillo, M., & Chawla, N. (2015). *Country Index Technical Report*. Université de Notre Dame. Recuperado de https://gain.nd.edu/assets/254377/nd_gain_technical_document_2015.pdf
- CICC. (2013). Estrategia Nacional de Cambio Climático. *Diario Oficial de la Federación*.
- Clean Energy Investment 2018 | Bloomberg NEF. (2018). Recuperado el 16 de octubre de 2018, de <https://about.bnef.com/clean-energy-investment/>
- CONVAL. (2017). Pobreza en México. Recuperado el 17 de febrero de 2019, de

- <https://www.coneval.org.mx/Medicion/Paginas/PobrezaInicio.aspx>
de la República, G. (2015). *COMPROMISOS DE MITIGACIÓN Y ADAPTACIÓN ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO PARA EL PERIODO 2020-2030*. Recuperado de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/162974/2015_indc_esp.pdf
- de los Angeles Rodriguez Aguirre, M. (2 de marzo del 2017). *Dictamen de la Comisión de Cambio Climático con proyecto de decreto que reforma, adiciona y deroga diversas disposiciones de la Ley General de Cambio Climático*. Comisión de Cambio Climático.
- Gay, C., & Abad, J. C. R. (2015). *Reporte Mexicano de Cambio Climático. Impactos, Vulnerabilidad y Adaptación. Grupo II*.
- Gay, C., Gutierrez, A. C., & Tatiana Peña Ledon, C. (2015). *Reporte Mexicano de Cambio Climático. Impactos, Vulnerabilidad y Adaptación. Grupo II* (Vol. II). Universidad Nacional Autónoma de México. Programa de Investigación en Cambio Climático.
- Giménez, G., del Pilar Pastor Pérez, M., & Malacara Hernández, H. M. (2017). Factores de innovación en los estados de México. ¿A qué se deben las diferencias entre estados con mayor y menor dinamismo innovador? *Investigación Económica*, 76(302), 131–164.
- Gobierno de la República. (2014). *Cambio Climático en México*. Recuperado de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/314956/Datos_CC_M_xico-FINAL__REV1__2014.pdf
- Gobierno de la República. (2015). *INDCs México*. Recuperado de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/162973/2015_indc_ing.pdf
- Gobierno Federal. Ley general de cambio climático, 6 § (2012).
- Gurría, A. (16 de junio de 2009). *Conmemoración de los 15 años de México como Miembro de la OCDE*. Centro de la OCDE en México para América Latina México DF. Recuperado de <https://www.oecd.org/centrodemexico/medios/43096510.pdf>
- Harvey, L. D. D. (1996). Development of a risk-hedging CO₂-emission policy, part I: Risks of unrestrained emissions. *Climatic change*, 34(1), 1–40.
- Hecht, A. D., & Tirpak, D. (1995). Framework agreement on climate change: a scientific and policy history. *Climatic change*, 29(4), 371–402.
- INE. (2014). Población urbana y rural por entidad federativa. Recuperado el 17 de febrero de 2019, de http://www.paot.org.mx/centro/ine-semarnat/informe02/estadisticas_2000/compendio_2000/01dim_social/01_01_Demografia/data_demografia/CuadroI.1.2.htm
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. (2018a). Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero. Recuperado el 6 de octubre de 2018, de <http://www.gob.mx/inecc/acciones-y-programas/inventario-nacional-de-emisiones-de-gases-y-compuestos-de-efecto-invernadero>
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. (2018b). Sistema Nacional de Cambio Climático (SINACC). Recuperado el 5 de septiembre de 2018, de <http://www.gob.mx/inecc/acciones-y-programas/sistema-nacional-de-cambio-climatico-sinacc>
- IPCC. (2019). Representative Concentration Pathways. Recuperado el 7 de marzo de 2019, de http://sedac.ipcc-data.org/ddc/ar5_escenario_process/RCPs.html
- IPCC. Working Group II. (2014). *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. IPCC Working Group II.
- Ley General de Cambio Climático, DOF § (2018). Recuperado de http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGCC_130718.pdf
- LGCC, § Artículo 8o (2018). Recuperado de http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGCC_130718.pdf
- OCDE. (2017a). *Panorama de la Educación*. Recuperado de <http://www.oecd.org/education/skills-beyond-school/EAG2017CN-Mexico-Spanish.pdf>
- OCDE. (2017b). *Panorama de la Educación 2017*. OCDE Publications. Recuperado de <http://www.oecd.org/education/skills-beyond-school/EAG2017CN-Mexico-Spanish.pdf>
- Orellana, R., Espadas, C., Conde, C., & Gay, C. (2009). Atlas escenarios de cambio climático en la Península de Yucatán. *Centro de Investigación Científica de Yucatán, AC*.
- ProMéxico. (2018). Mapa de Inversión en México - Perfil del sector Energía. Recuperado el 16 de octubre de

2018, de http://mim.promexico.gob.mx/swb/mim/Energias_renovables
 Proméxico, GIZ, & IER. (2017). *La industria solar fotovoltaica y fototérmica en México*. Recuperado de
<http://www.promexico.mx/documentos/biblioteca/industria-solar.pdf>
 SENER. (17 de junio de 2015). *Resumen ejecutivo de la Reforma Energética*. Gobierno de la República.
 Recuperado de
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/10239/Resumen_de_la_explicacion_de_la_Reforma_Energetica11.pdf
 SENER. (2017). *Reporte de avance de energías limpias*. SENER. Recuperado de
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/340121/Informe_Renovables_2017_cierre.pdf
 SENER. (2019). Estadística del sector eléctrico mexicano. Recuperado el 6 de octubre de 2018, de
<http://egob2.energia.gob.mx/portal/electricidad.html>
 Suprema Corte de Justicia. (2015). Relación de Tratados internacionales. Recuperado el 27 de agosto de 2018,
 de <http://www2.scjn.gob.mx/red/constitucion/TI.html#MEDIO%20AMBIENTE>
 UNFCCC. (1992). Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. En *Artículo II*.
 USAID. (2018). USAID Dollars to Results. Recuperado el 16 de octubre de 2018, de
<https://explorer.usaid.gov//results>

Sección 4

Allen, M., Barros, V., Broome, J., Cramer, W., Christ, R., Church, J., ... Yohe, G. (2014). *IPCC fifth assessment synthesis report - Climate Change 2014 synthesis report*. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).

de la Federación, D. O. (2012). *Ley general de cambio climático*. *Diario Oficial de la Federación*

Gay, C., Gutierrez, A. C., & Tatiana Peña Ledon, C. (2015). *Reporte Mexicano de Cambio Climático. Impactos, Vulnerabilidad y Adaptación. Grupo II* (Vol. II). Universidad Nacional Autónoma de México.

Chen, C., Noble, I., Hellmann, J., Coffee, J., Murillo, M., & Chawla, N. (2015). *Country Index Technical Report*. Université de Notre Dame. Recuperado de
https://gain.nd.edu/assets/254377/nd_gain_technical_document_2015.pdf

México. Programa de Investigación en Cambio Climático.

Giménez, G., del Pilar Pastor Pérez, M., & Malacara Hernández, H. M. (2017). Factores de innovación en los estados de México. ¿A qué se deben las diferencias entre estados con mayor y menor dinamismo innovador? *Investigación Económica*, 76(302), 131–164.

Gurría, A. (16 de junio de 2009). *Conmemoración de los 15 años de México como Miembro de la OCDE*. Centro de la OCDE en México para América Latina México DF. Recuperado de
<https://www.oecd.org/centrodemexico/medios/43096510.pdf>

Harvey, L. D. D. (1996). Development of a risk-hedging CO₂-emission policy, part I: Risks of unrestrained emissions. *Climatic change*, 34(1), 1–40.

Intergovernmental Panel on Climate Change. Working Group II. (2014). *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. IPCC Working Group II.

IPCC. (2019). Representative Concentration Pathways. Recuperado el 7 de marzo de 2019, de
http://sedac.ipcc-data.org/ddc/ar5_scenarioproces/RCPs.html

Orellana, R., Espadas, C., Conde, C., & Gay, C. (2009). Atlas escenarios de cambio climático en la Península de Yucatán. *Centro de Investigación Científica de Yucatán, AC*.

Población urbana y rural por entidad federativa. (2014). Recuperado el 17 de febrero de 2019, de
http://www.paot.org.mx/centro/ine-semarnat/informe02/estadisticas_2000/compendio_2000/01dim_social/01_01_Demografia/data_demografia/CuadroI.1.2.htm

Pobreza en México | CONEVAL. (2017). Recuperado el 17 de febrero de 2019, de
<https://www.coneval.org.mx/Medicion/Paginas/PobrezaInicio.aspx>

Universidad de Notre Dame. (2018). Rankings // Notre Dame Global Adaptation Initiative //

Anexos

Objetivos a evaluar en materia de adaptación:

1. Reducir la vulnerabilidad de la sociedad y los ecosistemas frente a los efectos del cambio climático
2. Fortalecer la resiliencia y resistencia de los sistemas naturales y humanos
3. Minimizar riesgos y daños, considerando los escenarios actuales y futuros del cambio climático
4. El desarrollo y aplicación eficaz de los instrumentos específicos de diagnóstico, medición, planeación y monitoreo necesarios para enfrentar el cambio climático;
5. Identificar la vulnerabilidad y capacidad de adaptación y transformación de los sistemas ecológicos, físicos y sociales y aprovechar oportunidades generadas por nuevas condiciones climáticas
6. Establecer mecanismos de atención inmediata y expedita en zonas impactadas por los efectos del cambio climático como parte de los planes y acciones de protección civil
7. Facilitar y fomentar la seguridad alimentaria, la productividad agrícola, ganadera, pesquera, acuícola, la preservación de los ecosistemas y de los recursos naturales

Artículo 29. Se considerarán acciones de adaptación: I. La determinación de la vocación natural del suelo; II. El establecimiento de centros de población o asentamientos humanos, así como en las acciones de desarrollo, mejoramiento y conservación de los mismos; III. El manejo, protección, conservación y restauración de los ecosistemas, recursos forestales y suelos; IV. La conservación, el aprovechamiento sustentable, rehabilitación de playas, costas, zona federal marítimo terrestre, terrenos ganados al mar y cualquier otro depósito que se forme con aguas marítimas para uso turístico, industrial, agrícola, pesquero, acuícola o de conservación; V. Los programas hídricos de cuencas hidrológicas; VI. La construcción y mantenimiento de infraestructura; VII. La protección de zonas inundables y zonas áridas; VIII. El aprovechamiento, rehabilitación o establecimiento de distritos de riego; IX. El aprovechamiento sustentable en los distritos de desarrollo rural; X. El establecimiento y conservación de las áreas naturales protegidas y corredores biológicos; XI. La elaboración de los atlas de riesgo; XII. La elaboración y aplicación de las reglas de operación de programas de subsidio y proyectos de inversión; XIII. Los programas de conservación y aprovechamiento sustentable de la biodiversidad; XIV. Los programas del Sistema Nacional de Protección Civil; XV. Los programas sobre asentamientos humanos y desarrollo urbano; XVI. Los programas en materia de desarrollo turístico; XVII. Los programas de prevención de enfermedades derivadas de los efectos del cambio climático, y XVIII. La infraestructura estratégica en materia de abasto de agua, servicios de salud y producción y abasto de energéticos.

Capítulo 2 | Adaptación al Cambio Climático

Solastalgia: «la añoranza del hogar que se siente cuando todavía se está en él»

Palabra creada por Glenn Albrecht para describir la angustia ocasionada por la devastación ambiental

Las primeras conversaciones científicas sobre el cambio climático se concentraban en demostrar la relación entre los niveles de emisiones de CO₂ y su posible efecto futuro en el clima¹⁵. Más adelante se empezaron a gestar conversaciones políticas al respecto, planteando la necesidad de disminuir las emisiones para así evitar el CC y sus consecuencias. Más tiempo pasó para que, las conversaciones científicas y políticas sobre qué pasaría si no se logran evitar efectos del CC, tomaran relevancia similar a las de cómo evitar que suceda. En efecto, en los primeros tratados internacionales, como el protocolo de Kioto y la CMNUCC, la capacidad de adaptación era reconocida como un indicador no como un objetivo (Schipper, 2006). El IPCC empezó a tratar por primera vez adaptación en un capítulo aparte en su Assessment Report 3 en el 2001. En la comunidad científica internacional, el tema también empezó a tomar cada vez más relevancia hasta que en 2009 se publicaron más artículos sobre adaptación que mitigación. Esta tendencia continuó hasta que en la COP 16, celebrada en Cancún en el 2010, las Partes afirmaron que debería darse la misma prioridad a la adaptación que a la mitigación (INECC, 2018).

Hoy en día “es claro que incluso con los acercamientos más vigorosos a la mitigación, no se evitará un escalamiento de los riesgos del cambio climático, mayores impactos son inevitables” (Richardson, Steffen, & Liverman, 2011). En efecto ya se están percibiendo efectos del CC en México y el Mundo (INECC, 2019). Por esta razón la adaptación tiene hoy un papel central en las conversaciones científicas y políticas de todo el mundo. Pero es importante recalcar que esto no quiere decir que se ha tirado la toalla en mitigación y ahora solo importa prepararse para lo inevitable. Cada acción que se lleva a cabo en mitigación contribuye a disminuir las necesidades de adaptación. No importa qué tan desarrollado esté el CC, nunca debería llegar el momento de abandonar todo esfuerzo de mitigación y concentrarse únicamente en adaptación ya que siempre se puede disminuir la probabilidad de impactos adicionales presentes y futuros. Sin embargo, es importante plantearse algunas preguntas relacionadas que se tratarán más adelante como: ¿Cómo debe decidir un país la proporción de recursos que destina para adaptación y mitigación? ¿De qué manera las condiciones de desarrollo de ese país deben influir en esa relación? y ¿Cómo esa relación debe cambiar con el tiempo?

“México tiene características geográficas que lo sitúan como un país altamente vulnerable a los efectos adversos del cambio climático. Su localización entre dos océanos y su latitud y relieve lo hacen estar particularmente expuesto a eventos hidrometeorológicos” (SEMARNAT, 2015). En efecto, en México la adaptación es una

¹⁵ A principios del siglo XIX se encontraron evidencias de una relación cambios en el paleoclima y concentraciones de CO₂ atmosféricas. La primera publicación científica disponible en Web of Science sobre la posibilidad de que actividades humanas generan cambios en el clima global es de 1925 por H. Gams.

necesidad cada vez más urgente. La sociedad, el sector privado, el gobierno y la academia juegan cada uno un papel fundamental para reducir los impactos del CC en México, su gente, su cultura, su naturaleza y territorio.

En esta sección empezaremos por definir el concepto de adaptación, los diferentes tipos, acercamientos y enfoques que existen y el marco normativo e institucional mexicano en materia de adaptación. Concluiremos con un análisis de la vulnerabilidad en México que presenta los retos principales para la adaptación del país.

Tipos, niveles, enfoques y acercamientos de adaptación

En la ENCC se define adaptación como:

Medidas y ajustes en sistemas humanos o naturales, como respuesta a estímulos climáticos, proyectados o reales, o sus efectos, que pueden moderar el daño, o aprovechar sus aspectos beneficiosos. (Gobierno de la República, 2013)

Uno de los elementos fundamentales de toda estrategia de adaptación es que presente cobeneficios, es decir además de permitir adaptación también tiene que contribuir en cierta medida a la mitigación o al menos no producir un volumen considerable de emisiones. No es adaptación si contribuye a generar la problemática que está enfrentando. De hecho, como se muestra en la Figura 9, según la ENCC de las cinco acciones con más potencial de mitigación, 4 son acciones también de adaptación.

Por otro lado, los objetivos de acciones de adaptación, mitigación y desarrollo no siempre son completamente compatibles. En muchos casos una acción de adaptación como reconstruir una amplia extensión de manglar, puede utilizar recursos que podrían ser usados para proyectos de mitigación o representar la relocalización de una industria o un posible proyecto urbano o turístico con potencial económico para la región. Cuando se debe tomar una decisión que enfrenta los objetivos de distintos imperativos del combate climático se le conoce como *compromisos* generalmente conocidos por la palabra en inglés *trade-offs*. Toda acción de adaptación implica este tipo de compromisos, los cuales deben ser evaluados a distintas escalas para

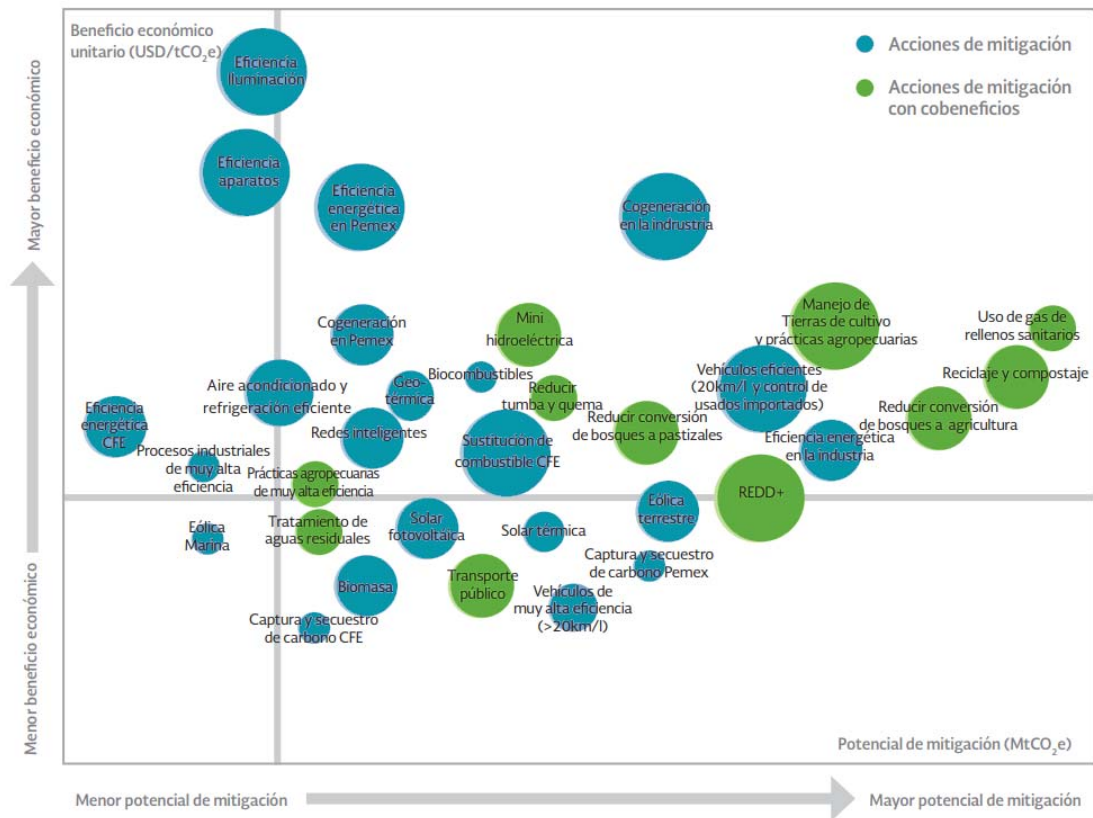


Figura 9 | Matriz de acciones de mitigación en el mediano plazo (2020-2050)

El tamaño de los círculos representa la viabilidad de los proyectos dadas las condiciones actuales, mientras más grande el círculo, mayor viabilidad.

Fuente: ENCC

Las acciones y estrategias de adaptación se pueden implementar a distintas escalas, desde lo individual hasta una región completa como la gran barrera verde que atraviesa África de costa a costa con 8,000 km de bosque para luchar contra la desertificación y proveer una fuente de trabajo y alimento que reduzca la migración, sequías, hambre y conflictos. Actualmente se ha plantado cerca del 15% y se espera que cuando esté terminada sea la estructura viva más larga del planeta (UNCCD, 2018).

Tabla 12 | Niveles de adaptación

Individual	Acciones en hogares o negocios familiares, como las parcelas, liberadas y llevadas a cabo por un núcleo cercano de manera autónoma aunque en muchos casos incluye ayuda de la comunidad, empresas, asociaciones y/o gobiernos locales. Principalmente pertinente para campesinos y pescadores cuyo medio de subsistencia son productos ecosistémicos y agropecuarios.
Comunidad/ gobierno local	Requiere un entendimiento más profundo y un acercamiento sistémico y coherente que reconozca las especificidades de la comunidad y localidad para permitir su adaptación preventiva o reactiva. Se fondea y lidera por autoridades comunitarias o del gobierno municipal con apoyo de distintas otras instituciones.
Instituciones de nivel intermedio	Se refiere a instituciones con autoridad estatal. La adaptación a este nivel se relaciona con los recursos administrados de este modo como es el caso de las fuentes de agua potable en México. Barreras a este nivel son uno de los principales impedimentos para estrategias efectivas tanto a nivel local como nacional.
Nacional	Priorizar las necesidades de los más vulnerables debe ser parte de la política pública a nivel nacional. Los gobiernos deben tomar un enfoque sectorial que permita y articule las acciones en todos los demás niveles. La principal herramienta que sugiere la ONU para este nivel es establecer los Programas Nacionales de Acción en Adaptación (NAPA por sus siglas en inglés)
Internacional	Existen diversas instituciones internacionales que pueden apoyar en la investigación y desarrollo de soluciones en la materia y mediar iniciativas de cooperación regional e internacional. Por el concepto de equidad climática y responsabilidad diferenciada, la cooperación internacional debe jugar un papel importante en el financiamiento de estrategias entre los países menos desarrollados.

Fuente:(Major & O’Grady, 2010)

Dependiendo del momento y de los actores principales, se pueden distinguir diferentes tipos de adaptación que implican retos y resultados diferentes.

Tabla 13 | Tipos de adaptación

Anticipativa o proactiva	Adaptación que sucede antes de que los impactos se perciban
Autónoma o espontánea	Adaptación que no representa una respuesta planeada o dirigida a estímulos climáticos más bien se detona en sistemas humanos por cambios en mercados o el ambiente y en sistemas naturales por cambios ecológicos.
Planeada	Adaptación resultante de decisiones, basadas en el conocimiento de qué condiciones han cambiado o están a punto de cambiar y es necesario tomar acciones para regresar o alcanzar un estado deseado.
Privada	Adaptación llevada a cabo por individuos, grupos sociales o compañías privadas, usualmente se lleva a cabo por una conciencia de su potencial para beneficio propio.
Pública	Adaptación iniciada e implementada por gobiernos en todos los niveles, usualmente se lleva a cabo tomando en cuenta las necesidades colectivas.
Reactiva	Adaptación que sucede después de que los impactos se observan

Fuente: Elaboración propia

La adaptación espontánea, privada y pública cumple con distintos papeles dentro de una estrategia nacional de adaptación pero las tres pueden ser del tipo anticipativa o reactiva con evidentes diferencias en su efectividad para evitar pérdidas.

Acercamientos a la adaptación

Una vez conscientes de la necesidad de implementar una estrategia de adaptación en una población o sistema, se debe decidir el acercamiento que, dadas las condiciones específicas, permita conseguir los mejores resultados con los recursos disponibles. Cada acercamiento constituye el núcleo de una metodología y se pueden complementar entre ellos. Se distinguen los siguientes:

- **Orientado a impactos**

En este acercamiento se parte de proyecciones de impactos biofísicos potenciales desarrolladas gracias a modelos y escenarios climáticos para diseñar e implementar respuestas de individuos o grupos. Este acercamiento implica un grado de incertidumbre alto asociado al desescalamiento temporal y espacial de los modelos climáticos.

- **Vulnerabilidad**

Partiendo de un estudio robusto de las condiciones de una población o sistema que incluye un estudio cultural, de género, gobernabilidad, institucional y económico, entre otros factores, se busca entender la manera en la que el CC puede afectar el bienestar de esa población, y cambiar esas condiciones para que la población sea menos afectada por el CC. En este acercamiento el CC se percibe como una de las

fuerzas externas que afectan al sistema y se busca incidir en los elementos internos y sus relaciones para que esas fuerzas externas tengan un menor impacto.

- **Construcción de resiliencia**

Se busca lograr que una sociedad sea resistente a una amplia gama de posibles eventos climáticos reduciendo su vulnerabilidad sin depender únicamente de modelos climáticos aunque apoyándose en ellos, especialmente cuando son congruentes con tendencias medidas.

- **Análisis de sensibilidad y riesgo**

Estudiar y evaluar las acciones posibles y sus riesgos para entender los umbrales de posibilidades e impactos y los puntos de inflexión que representen mayores cambios.

- **División de riesgos**

Este acercamiento es una variante del análisis de sensibilidad donde se toman acciones para un grupo de escenarios climáticos de tal modo que se aumenta la posibilidad de éxito, como reforestar árboles para diferentes climas futuros posibles en el mismo lugar.

(Richardson et al., 2011)

Cada país debe, en relación a su contexto diseñar sus estrategias con combinaciones de estos acercamientos. En México, el acercamiento de la reducción de vulnerabilidad es el principal acercamiento que ha tomado el gobierno al ser un país en vías de desarrollo y con importantes desigualdades sociales. Por esta razón, dedicamos una sección a una evaluación de la vulnerabilidad en el país.

Enfoques para la adaptación

Al ser el CC una problemática que permea en la totalidad de los ámbitos de la vida, es necesario tener consideraciones diferentes, dependiendo del sistema, sector y escala en la que se busca reducir la vulnerabilidad. A estas consideraciones se les conoce como *enfoques*. Es importante tomar en cuenta que no son exclusivos entre sí, más bien están diseñados para integrarse en diferentes combinaciones para enfrentar de la mejor manera cada caso específico. A esto se le llama la *visión sistémica* e implica que “cada vez más, la adaptación contempla opciones que se basan en la gestión integrada del territorio, en la participación de las comunidades locales, en los enfoques ecosistémicos y en la reducción de riesgos de desastre, enfoques que deben ser integrados en estrategias y planes de gestión pertinentes” (Intergovernmental Panel on Climate Change. Working Group II, 2014)

Las INDCs de México en materia de adaptación se dividieron los enfoques del Sector Social, Basada en Ecosistemas e Infraestructura Estratégica y de los Sistemas Productivos. Pero también los enfoques de adaptación Basada en Comunidades y de Reducción de Riesgo de Desastres son muy recurrentes en la literatura científica y el diseño de políticas públicas.

Adaptación del sector social (ASS)

Este enfoque está basado en reducir la vulnerabilidad de la población y de los sistemas sociales. Esto se traduce en incidir en los asentamientos humanos urbanos y rurales con alerta y preparación de desastres, diseño urbano resiliente, control de violencia y mecanismos para prevenir enfermedades vinculadas al CC, entre otros. Pero también la seguridad alimentaria y laboral. La reducción de la pobreza y las vulnerabilidades asociadas con la pobreza, como la falta de infraestructura de servicios, educación y vivienda digna y resiliente, son uno de los principales objetivos y alcances de este enfoque (SEMARNAT, 2015).

Adaptación de la infraestructura estratégica y de los sistemas productivos

Este enfoque busca mejorar la capacidad de resistencia de la infraestructura y los sectores de los que la población depende. Involucra los sistemas agropecuarios, forestales, acuícolas, industrial, pesquero, extractivo y turístico entre otros y considera la infraestructura de comunicaciones, transportes, energía e hídrica. Se plantea para todas las etapas del ciclo de vida de la infraestructura, desde su diseño hasta su desmantelamiento y reciclaje, lo que implica una visión a largo plazo que considere distintos escenarios de impactos (SEMARNAT, 2015).

Adaptación basada en ecosistemas (AbE)

En este enfoque la relación entre el bienestar de una población y el estado de los ecosistemas es central. Por otro lado, todas las especies son producto de adaptación al clima y el ambiente. Muchos ecosistemas tienen también diferentes mecanismos que les permiten mantener sus funciones frente a distintas fuerzas externas. La naturaleza sabe de adaptación. Reconociendo esta relación y cualidades, la AbE centra las acciones de adaptación en preservar y transformar ecosistemas para que, a través de sus funciones físicas y biológicas¹⁶, contribuyan a la adaptación de poblaciones humanas (Munang et al., 2013). Un ejemplo es el cuidado y crecimiento de manglares en zonas con peligro por huracanes para construir una resistencia hidráulica que disminuya la velocidad del agua y los vientos provenientes del mar, disminuyendo las inundaciones.

Por su medio de impacto, este enfoque es generalmente accesible en su implementación y mantenimiento, tanto económica como técnicamente, para poblaciones con escasos recursos e implica mantenimiento de bajo costo ([Colls, Ash, & Ikkala, 2009](#)). Es por eso que es muy cercana a la AbC y ambas comparten principios y herramientas.

El enfoque de Adaptación basada en Ecosistemas considera los siguientes aspectos:

- Los impactos de esta metodología son observables a diferentes escalas, permitiendo enfoques multisectoriales y se presentan en el corto y en el largo plazo.

¹⁶ En esta definición se suele usar el término servicios ambientales, el cual se evitó en esta tesis porque implica una relación de subordinación con la naturaleza que considero peligrosa en especial en un contexto de cambio climático y crisis ambiental.

- Detona beneficios sociales y mejora la calidad de vida de las personas; por ello requiere un planteamiento participativo, transparente, responsable y culturalmente apropiado, con un enfoque de género y derechos humanos.
- Tiene una perspectiva integral y sistémica, que considera de manera preponderante los conocimientos tradicionales y locales, así como los valores culturales, pero incluye la participación y los conocimientos científicos y técnicos externos.
- Presenta co-beneficios con la mitigación del cambio climático, a través de la captura de carbono y la reducción de emisiones.
- Plantea medidas que suelen ser reversibles, lo cual es un aspecto importante considerando la incertidumbre asociada al cambio climático.

(INECC & CENAPRED, 2018)

La dimensión de conservación natural, el empoderamiento de comunidades locales y población indígena y los beneficios de mitigación son los principales elementos que hacen este enfoque altamente viable y necesario en México.

Adaptación basada en comunidades (AbC)

Este enfoque es parte de la ASS pero reconoce las especificidades de este tipo de organización social. El proceso es liderado por miembros de la comunidad, basado en sus prioridades, necesidades, conocimientos y capacidades.

El objetivo principal de la AbC es aumentar la capacidad de las comunidades humanas para adaptarse al cambio climático, lo que puede lograrse a través de integrar conocimientos locales, comunitarios y tradicionales con estrategias innovadoras, pero también protegiendo los ecosistemas y recursos que dan sustento las personas, con lo cual se busca reducir la vulnerabilidad actual y futura, y mejorar su capacidad adaptativa ante nuevos retos (“CARE Climate Change”, 2019)

Este enfoque se puede beneficiar ampliamente del intercambio horizontal de conocimiento y experiencias entre comunidades, como en la metodología Campesino a Campesino¹⁷. En este sentido, la ONU ha desarrollado una base de datos de acciones y casos de adaptación con este enfoque llamada *Climate Change Coping Strategies*. Es importante mencionar que estas estrategias no solo dependen de los cambios en el clima de una población ni de sus medios de producción y subsistencia, sino también son altamente sensibles a la cultura local, lo que limita la capacidad de transferencia a una escala global y favorece los intercambios locales y regionales.

¹⁷ Es una metodología que nació con los movimientos sociales agroecológicos de América Latina y ha probado ser una poderosa herramienta transformadora en contextos rurales de todo el mundo. Concibe a los campesinos y campesinas como actores de su propio desarrollo. Implica un diálogo horizontal y constante de experiencias y conocimientos. Algunos de sus principios básicos son enseñar con el ejemplo y empezar despacio en una lógica de acción - reflexión - acción. (Holt-Giménez, 2008)

Este enfoque considera, entre otras:

- Promover medios de vida resilientes al clima, diversificar actividades, crear capacidad para la planificación y para la prevención y la reducción del riesgo.
- Mejorar el conocimiento de las poblaciones sobre los impactos del cambio climático, la importancia de la adaptación ante estos impactos, y de ser posible aprovechar los beneficios que se pudieran derivar del cambio climático.
- Desarrollar y fortalecer capacidades institucionales de mediación (capacitación y arreglos institucionales entre gobiernos, academia y organizaciones de la sociedad civil) para proporcionar un mejor apoyo a las comunidades, hogares e individuos en sus esfuerzos de adaptación.
- Promover la integración, la organización social y la gobernanza para abordar las causas subyacentes de la vulnerabilidad, por ejemplo generando atlas comunitarios.
- Impulsar procesos con enfoque de género y generacional, considerando que la vulnerabilidad es diferenciada en una comunidad (por ejemplo, mujeres, niños y ancianos). Idealmente, las medidas de adaptación basadas en comunidades integran a las mujeres en cada etapa del proceso de adaptación, planteando nuevas alternativas laborales para ellas y acciones en las que asuman roles que las posicionan como motores de cambio en su comunidad.

(CENAPRED, 1991)

De acuerdo con el INEGI, aproximadamente 25 millones de mexicanos viven en comunidades de menos de 2500 habitantes (INEGI, 2013). En estas poblaciones, se concentran también altos niveles de pobreza, deficiencias de educación y falta de infraestructura. Este enfoque puede representar una importante herramienta para asegurar que las condiciones de esta población no solo no empeoren con el cambio climático sino que mejoren a través de la acción climática.

Adaptación basada en la Reducción del Riesgo de Desastres (AbRRD)

Es un esfuerzo a largo plazo que busca prever y prepararse para desastres naturales asociados al CC. Se puede aplicar a gran escala con obras de infraestructura pública y planeación regional o a mediana escala, generalmente desde el sector privado. Se apoya en modelos y escenarios climáticos y depende en gran medida de sistemas de alerta temprana para poder reaccionar de manera óptima (Climate-ADAPT, 2018).

La adaptación AbRRD considera:

- Comprender el riesgo de desastres, en todas sus dimensiones. Esto incluye metodologías para analizar la vulnerabilidad local, los impactos a los que están expuestas las personas o los bienes, así como las características ambientales, sociales o culturales que favorecen o incrementan los riesgos.
- Fortalecer la gestión del riesgo y su mejor manejo, ya sea a través de estructuras comunitarias o institucionales.
- Invertir en la reducción del riesgo de desastres para el mediano y largo plazo, incluyendo no sólo las estructuras físicas, sino la mejora de las condiciones

económicas, sociales, culturales, de salud, etc.; a fin de tener capacidades integrales para la recuperación de la población y las comunidades y aumentar así su resiliencia.

- Mejorar la preparación frente a desastres logrando una respuesta comunitaria eficaz, que incluya la recuperación y la rehabilitación efectiva.

(INECC & CENAPRED, 2018)

Por su gran extensión costera, en especial en el caribe, el pacífico norte y el golfo, México está altamente expuesto a tormentas y huracanes que implican importantes costos materiales e inmateriales y se espera que se intensifiquen por efectos del cambio climático. “Tan sólo entre 2001 y 2013, los afectados por los fenómenos hidrometeorológicos en el país ascendieron a cerca de 2.5 millones de personas y los costos económicos sumaron 338.35 miles de millones de pesos” (INECC, 2014). Por lo tanto, este enfoque puede ser determinante en la estrategia nacional de adaptación, particularmente en zonas costeras del atlántico.

Gestión adaptativa activa

Al tratar con una problemática en constante evolución y de la que aún estamos aprendiendo, toda acción de adaptación debe tener un mecanismo de retroalimentación que se conoce como Gestión adaptativa activa. De este modo se asegura una reevaluación y ajuste constantes que permiten una mejora continua de la estrategia y sus impactos. Esto implica que el acercamiento donde se desarrolla una amplia investigación que luego se traduce en una política pública sea ineficiente y se necesite en cambio un diálogo constante entre los expertos, los políticos y la población impactada. (Richardson et al., 2011)

Justicia y equidad

La justicia y la equidad climática es un tema que empezó a tener cada vez más importancia en las conversaciones internacionales de cambio climático hasta ser uno de los temas centrales de las COP.

A nivel nacional, se basa en que no todos los países han contaminado lo mismo, y por lo tanto no han contribuido de la misma manera en generar el cambio climático. Como se puede ver en el diagrama de pareto de la Figura 11, 4 países han contaminado los demás 202 países juntos. Además, se ha demostrado que existe una relación entre la cantidad de emisiones que ha generado un país y su nivel de desarrollo (Richardson et al., 2011). Como se puede ver en la Figura 10, Europa ha contaminado casi 14 veces más que todo África. En efecto, para ser una economía desarrollada, en la mayoría de los casos, ese país necesitó desarrollar una industria importante y su población al tener alta capacidad adquisitiva, consume más energía y productos. Esto se traduce en que los países más desarrollados tienen una huella ambiental per cápita mayor que la de los países menos desarrollados. Como se ha visto antes en esta tesis, uno de los principales factores que aumenta la vulnerabilidad es la pobreza y la falta de servicios básicos de calidad. Todos estos factores se suman para hacer que los países que menos han contribuido a que se produzca la problemática global del cambio climático sean los que más van a sufrir sus consecuencias y los que menos cuentan con la capacidad para enfrentar sus impactos. Del otro lado, los países que más han

contaminado son los que actualmente tienen más medios económicos y de infraestructura para enfrentar los impactos del cambio climático minimizando las pérdidas en su territorio. Por lo tanto, hay una responsabilidad de los países más desarrollados de ayudar a los países menos desarrollados a adaptarse al cambio climático y contribuir en mayor medida que los países menos desarrollados a mitigar sus emisiones. Esto se conoce como responsabilidad climática diferenciada entre los países con distintos niveles de desarrollo. En el marco de las COP, esto se traduce en 3 grupos de países con distintas responsabilidad y facultades. Los 24 países más desarrollados, denominados Annex II que tienen la responsabilidad de apoyar y financiar a los países Non-Annex I y los países menos desarrollados (LDC por sus siglas en inglés).

Además del hecho que los países que menos tienen van a sufrir más consecuencias del cambio climático, dentro de cada país los impactos no se distribuyen del mismo modo. Un ejemplo muy claro es en los impactos en la alimentación que aumentarán el nivel de desnutrición de la población, pero especialmente en la población femenina. Esto se debe a la manera en la que normalmente se distribuyen los recursos en los hogares. Es muy común que en tiempos de escasez, una jefa de casa se asegure que los hombres estén lo mejor alimentados posible, antes que asegurar su propia alimentación o la de las demás mujeres de la casa. Muchos de los riesgos a la salud intensificados por el cambio climático afectarán en mayor medida a la población femenina, a los adultos mayores y niños, a la población más pobre, la población indígena y en muchos casos a las minorías o mayorías oprimidas (Thomasa & Twymanb, 2005). Además de una distribución desigual de los efectos, también hay una tendencia a una distribución desigual de la ayuda. Un ejemplo es la cantidad ayuda distribuida después del huracán Harvy en barrios mayoritariamente blancos en relación con la ayuda a barrios mayoritariamente afrodescendientes en Estados Unidos (Capps, 2018).

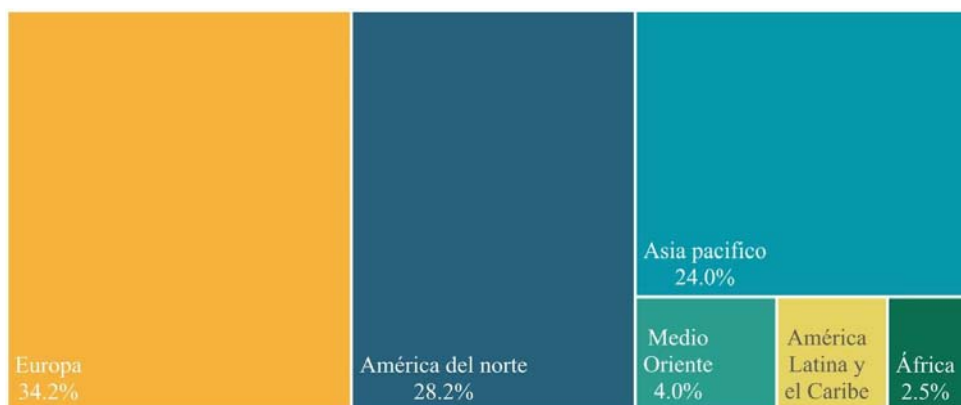


Figura 10 | Emisiones acumuladas al 2016 por región

Fuente: Elaboración propia con datos del Global Carbon Project

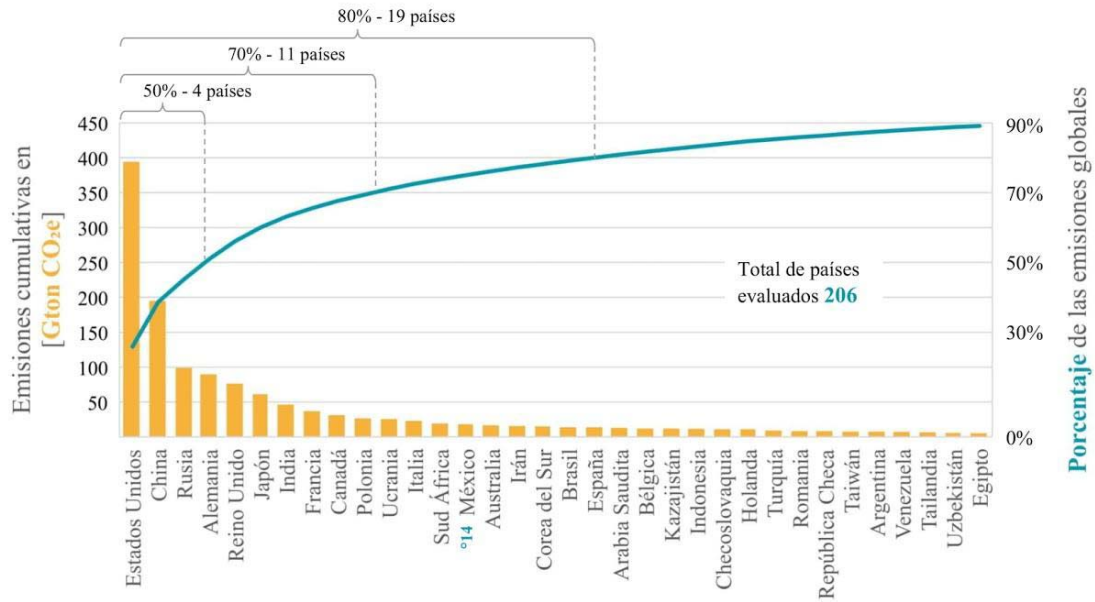


Figura 11 | Emisiones acumulativas al 2016 de los 35 países que han contribuido con el 90% de las emisiones globales

Fuente: Elaboración propia con datos del Global Carbon Project

Límites de la adaptación

Por más desarrollada que estén la ciencia, la técnica y la gestión en materia de adaptación, hay muchos casos donde resulta imposible que un sistema se ajuste por completo al nuevo clima y sus impactos. Cuando los cambios son muy drásticos, hay pérdidas que son inevitables e irreversibles. Por ejemplo, Hoegh-Guldberg et al. (2007) afirman que con un calentamiento de 2°C será extremadamente raro encontrar corales como los conocemos hoy en día (Hoegh-Guldberg et al., 2007). En efecto, ya hay especies que se han extinguido por el CC (Waller, Gynther, Freeman, Lavery, & -P. Leung, 2017) y muchas más que las seguirán y no en todos los casos será posible hacer algo al respecto. No se puede recongelar el permafrost, desacidificar el mar, ni reconstruir una ladera deslavada. Para las poblaciones más vulnerables estos límites pueden ser aún más grandes. Como en Kiribati, el primer país isleño que compró tierras en otro país para mudar poco a poco a su gente y cultura (KAPIII, 2014). El nivel de adaptación es limitado cuando el agua cubre todo lo que alguna vez fue una cultura de más de 700 años.

Adaptación en México

A la par del inicio de la lucha en México por un desarrollo bajo en emisiones, comenzaron los esfuerzos gubernamentales para construir un marco normativo e institucional en materia de adaptación. Como parte del Marco de Adaptación de Cancún, se propuso que cada país elaborara un Plan Nacional de Adaptación (NAP por sus siglas en inglés). Este documento busca articular una política pública y un ambiente de cooperación internacional entre las partes de la COP para permitir la reducción de la vulnerabilidad aumentando la capacidad adaptativa, en particular en los países en desarrollo. Este documento se suma a los NDCs, que generalmente están más enfocados a mitigación, para generar un marco más completo de acción climática comunicado internacionalmente. Actualmente, al menos 12 países de América Latina han publicado o empezado a formular sus NAP, entre ellos Brasil, Argentina, Chile y Colombia, pero México no es uno de ellos (LDC Expert Group, 2018). Esto quiere decir que no existe un documento legislativo en México que trate la adaptación de manera independiente. Contrariamente a la mitigación que cuenta con la Ley de Transición Energética. Aún así, la adaptación se trata en todos los documentos e instituciones con facultades en materia de CC. Sin embargo, México ha presentado sus Compromisos de Adaptación frente a las Partes en la COP 15, los cuales presentan en el anexo.

A continuación se describen los elementos de adaptación en los principales documentos legislativos mexicanos, y la manera en la que juntos articulan un marco normativo para la adaptación. También se mencionan las instituciones públicas y sus responsabilidades, así como el papel de los demás actores en la acción de adaptación en México.

Componentes de adaptación en el marco institucional y normativo

La mayor parte de las acciones de mitigación se concentran en el sector de producción de energía y el sector transporte. Por otro lado, las acciones de adaptación no están focalizadas, su impacto se distribuye en la población, la infraestructura pública y privada, y el medio natural. Por esta razón, el estado toma un papel central en las acciones de adaptación, y se requiere un marco institucional y normativo robusto que permita una respuesta oportuna del gobierno y articule a los diferentes actores. En la COP 21 de París, México firmó sus Compromisos de Adaptación que están descritos en la ficha anexada. En ese documento, se establecen una serie de metas que entraron en vigor con la ratificación de los Acuerdos de París en noviembre del 2016. Además de las NDCs, en distintos documentos legislativos hay componentes de adaptación que se describen a continuación que establecen metas, mecanismos y responsabilidades.

LGCC

Esta ley genera un marco legislativo que fomenta y rige las acciones de adaptación en el sector público, privado y social. Establece la reducción de la vulnerabilidad como un objetivo nacional en todos los ámbitos y como una responsabilidad de los tres niveles de gobierno. Su principal función es establecer los objetivos generales en materia de adaptación que serán puntualizados en la ENCC, los INDCs y los PECC.

Además, enlista las acciones que el gobierno considerará como acciones de adaptación por lo que pueden ser elegibles para apoyo y financiamiento que se inscriben en uno o más de los 7 ámbitos de la adaptación. Todos estos elementos se presentan completos en el Anexo, para ser referenciados en capítulos posteriores.

ENCC

Para cumplir con los mandatos de la LGCC a corto mediano y largo plazo, la ENCC establece tres ejes estratégicos en materia de adaptación:

1. Reducir la vulnerabilidad y aumentar la resiliencia del sector social ante los efectos del cambio climático
2. Reducir la vulnerabilidad y aumentar la resiliencia de la infraestructura estratégica y sistemas productivos ante los efectos del cambio climático
3. Conservar y usar de forma sustentable los ecosistemas y mantener los servicios ambientales que proveen.

Como se puede notar, la reducción de la vulnerabilidad es el esfuerzo principal que propone la ENCC para prepararse a enfrentar los efectos del CC. También señala elementos del enfoque basado en ecosistemas y de la protección de infraestructura.

Además, propone los siguientes doce criterios para evaluar y seleccionar las medidas de adaptación más adecuadas para cada caso:

- Atención a poblaciones más vulnerables
- Transversalidad con políticas, programas o proyectos
- Fomento de la prevención
- Sustentabilidad en el aprovechamiento y uso de los recursos naturales
- Conservación de los ecosistemas y su biodiversidad
- Participación activa de la población objetivo y fortalecimiento de capacidades
- Fortalecimiento de capacidades para la adaptación
- Factibilidad
- Costo-efectividad o Costo-beneficio
- Coordinación entre actores y sectores
- Flexibilidad
- Monitoreo y evaluación del cumplimiento y efectividad de las acciones elegidas

Tomar en cuenta estos criterios desde la etapa de innovación tecnológica puede ser fundamental para desarrollar estrategias de adaptación efectivas.

Programa Especial de Cambio Climático (PECC)

Cada PECC debe establecer las metas sexenales en materia de adaptación para cada nivel de gobierno. El último publicado con vigencia al 2018, contempla 2 objetivos relacionados con adaptación:

Reducir la vulnerabilidad de la población y sectores productivos e incrementar su **resiliencia** y la **resistencia** de la **infraestructura estratégica**. El cual concentra acciones de la Administración Pública Federal para la adaptación al cambio climático en los ámbitos de **gestión integral del riesgo y del territorio**; riesgos de **salud** de la población; resistencia de la **infraestructura** estratégica **existente** y en el diseño y construcción de la nueva, así como reducción de la vulnerabilidad en los sectores de **industria y servicios**.

Conservar, restaurar y manejar **sustentablemente** los **ecosistemas** garantizando sus **servicios ambientales** para la **mitigación y adaptación** al cambio climático. El cual establece estrategias y líneas de acción para garantizar el desarrollo de una economía competitiva fortaleciendo la **conservación, uso, manejo y aprovechamiento sustentable de los ecosistemas**, que proveen servicios ambientales necesarios para enfrentar el cambio climático. Asimismo, el objetivo busca fortalecer el **manejo comunitario** de los ecosistemas; atender las presiones inmediatas sobre estos, así como aprovechar los sectores forestal, agropecuario y de otros usos del suelo para la reducción de emisiones y captura de carbono.

(SEMARNAT, 2014))

Al igual que en los NDCs, se puede notar que en los objetivos de adaptación del PECC retoman los enfoques social, de infraestructura estratégica y ecosistemas. Cada sexenio, se publicará un nuevo PECC con las metas específicas a cumplir en materia de adaptación, y en ellos se definirá la efectividad de la política pública que permita reducir las pérdidas por fenómenos asociados al cambio climático en el país.

Mecanismos de prevención y reacción frente a desastres naturales

Mientras que aún no hay ningún organismo nacional específico para lidiar con los efectos del cambio climático, existen diversas instituciones con las facultades para enfrentar distintos desastres naturales. Se puede esperar que en el futuro se refuercen sus capacidades, se reforme su funcionamiento para poder hacerle frente a los nuevos retos o que se creen nuevas instituciones especializadas.

El principal mecanismo de financiamiento en caso de desastres es el Fondo de Desastres Naturales (FONDEN). Fue establecido a finales de los 90's en el marco de su estrategia de gestión integral del riesgo con el propósito de apoyar actividades de emergencia, recuperación y reconstrucción después de la ocurrencia de un desastre. Cuenta con recursos federales, pero también desde el 2006 cuenta con financiamiento internacional a través de Bonos Catastróficos que se puede usar en caso de desastres de cierta magnitud. Desde el 2000, ha trabajado con el Banco Mundial para reforzar y modernizar su funcionamiento,

hasta ser considerado uno de los ”[...] vehículos financieros de manejo del riesgo catastrófico más avanzado en el mundo” (SEGOB & Mundial, 2012). El FONDEN está compuesto por dos instrumentos presupuestarios, uno para la reconstrucción y otro para la prevención, con fideicomisos de BANOBRAS.

Como organismo para prevenir la exposición de la población a distintos riesgos naturales o antropogénicos, existe el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED). Tienen distintas facultades de monitoreo, evaluación e investigación para informar a la sociedad y aportar con la realización de políticas públicas que permitan construir una población más resiliente (Gobierno de la República, 2016).

Además de los fondos y organismos federales, cada estado y municipio cuenta con sus propios instrumentos y brazos de las instituciones federales para enfrentar de manera rápida y oportuna los desastres naturales.

Adicionalmente existe el Plan DN-III-E mediante el cual el ejército y otras fuerzas armadas del país deben asistir, rescatar y salvaguardar a la población afectada el desastre natural (Secretaría de la Defensa Nacional, 2015). Tienen cinco ejes de acción: búsqueda y rescate de personas, evacuación de comunidades en riesgo, administración de albergues, recomendaciones a la población, seguridad y vigilancia de las áreas afectadas.

Tratados e instituciones internacionales para la adaptación

El tratado en materia de CC más importante que ha firmado México y ratificado en septiembre del 2016 son los Acuerdos de París. En la Tabla 14, se presentan los artículos más importantes que mencionan adaptación dentro de los Acuerdos, aunque muchos afirman que su principal enfoque es en materia de mitigación.

A continuación se describen otros de los acuerdos e instituciones nacionales que apoyan o dirigen la adaptación en México.

Tabla 14 | Principales artículos dentro de los Acuerdos de París sobre Adaptación

Art. 7.1	Las Partes se comprometen en “aumentar la capacidad de adaptación, fortalecer la resiliencia y reducir la vulnerabilidad al cambio climático”.
Art. 7.9	“Cada Parte deberá, cuando sea el caso, emprender procesos de planificación de la adaptación y adoptar medidas, como la formulación o mejora de los planes, políticas y/o contribuciones pertinentes”
Art. 7.2	“un desafío mundial que incumbe a todos” “un componente fundamental de la respuesta mundial a largo plazo frente al cambio climático”. Igual importancia entre la mitigación y la adaptación ”Aumentar la capacidad de adaptación a los efectos adversos del cambio climático y promover la resiliencia al clima”
Art. 7.10	Presentación y actualización periódica de una comunicación sobre la adaptación

Fuente: Elaboración propia

Marco de Adaptación de Cancún (CAF)

Uno de los principales logros de la COP 16 en 2010, fue reconocer la importancia de la adaptación como una prioridad al igual que la mitigación. En este sentido las Partes desarrollaron y firmaron el CAF como parte de los Acuerdos de Cancún.

Su objetivo principal es mejorar las medidas de adaptación a nivel local pero especialmente en el marco internacional. En este acuerdo se reconoce el concepto de responsabilidad y vulnerabilidad desproporcionada, lo que impulsa a los países más desarrollados denominados como Annex I a apoyar a los países en vías de desarrollo o non-Annex I, y los países menos desarrollados (LDC, por sus siglas en inglés). Este apoyo incluye financiamiento, desarrollo y transferencia de tecnología y conocimiento y asesoría técnica y en materia de políticas públicas.

Mecanismo Internacional de Varsovia sobre Pérdidas y Daños

Enfocado a los casos donde las posibilidades de adaptación son limitadas y las pérdidas humanas, materiales y no materiales son inevitables o no son evitados. Se planteó en la COP de 2010 pero se creó en 2013. Se concentra principalmente en facilitar acción y apoyo en especial en financiamiento para lidiar con las pérdidas y daños asociados con el CC (UNFCCC, 2017).

Fondo de Adaptación

Se planteó en la COP de 2001 pero empezó a operar en 2007 para ayudar a financiar proyectos de adaptación en países en desarrollo. Ha invertido 532 millones de dólares en 80 proyectos de adaptación en todo el mundo (World Bank, 2018). Es administrado por el Banco Mundial con financiamiento de algunos países del Annex I, actualmente Alemania es el principal fondeador con más de 283 millones de dólares.

Plan de trabajo de Nairobi

El programa de trabajo de Nairobi es un programa quinquenal establecido en el año 2005. Su objetivo es ayudar particularmente a los países en desarrollo, y los menos desarrollados a mejorar su entendimiento y evaluación de los impactos, vulnerabilidad y oportunidades de adaptación frente al CC para promover toma de decisiones informada y efectiva. (UNFCCC, 2012)

Sector privado

Actualmente, no se ha encontrado ningún tipo de red u organización en México que articule al sector privado para implementar acciones en materia de adaptación. Conforme los impactos del cambio climático aumenten, se puede esperar que surjan instituciones de este tipo. Uno de los esquemas más comunes será de cooperación entre empresas situadas en la misma zona que les permitan implementar y financiar de manera conjunta acciones para proteger la zona y sus bienes materiales en ella.

Por otro lado, se crearán nuevas empresas o empresas existentes incrementarán su venta de bienes o servicios al sector público o privado que permitan la adaptación. Aunque

se crearán nuevos productos específicos para la adaptación, en muchos casos, las empresas no cambiarán sus productos por el contexto de cambio climático, solo cambiará la distribución de sus ventas, vendiendo más de un producto que antes se vendía poco o vendiéndolo en nuevas zonas. Por ejemplo, muchos sistemas de aire acondicionado eficientes ya están a la venta, pero conforme aumente la temperatura en las ciudades y el precio de los energéticos, aumentará el volumen de ventas y se desarrollarán nuevas tecnologías y nuevas empresas que se enfoquen en ese mercado. Uno de los sectores que se menciona mucho es el de los seguros contra daños de causa climática, tanto a nivel individual como para países completos. Para muchos casos ya existen, como los seguros contra huracanes pero se espera que cada vez se vendan más. También se proyecta un incremento en la venta de seguros para la producción alimenticia ya que puede sufrir grandes pérdidas anuales.

Academia

Para conocer la investigación que se lleva a cabo en el país sobre adaptación al cambio climático y así entender el papel de la academia en la adaptación nacional, realizamos un estudio cuantitativo presentado en la Ficha 4 mediante la base de datos web of science.

Este estudio se realizó buscando publicaciones científicas con el tema que incluye adaptación, cambio climático, México y sus distintas permutaciones y al menos un autor de nacionalidad mexicana¹⁸. Con esta búsqueda encontramos que podríamos caracterizar la investigación en materia de adaptación al cambio climático que se realiza en México y que está enfocada en acciones y estudio de la adaptación en el país.

Podemos identificar que el principal autor en la materia es el Dr. Cuauhtémoc Sáenz-Romero, investigador en temas agropecuarios y forestales de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. También podemos identificar a la doctora Cecilia Conde, Investigadora del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM, que se enfoca principalmente a evaluación de la vulnerabilidad y predicción de impactos del cambio climático. Otros investigadores con muchas publicaciones en la materia son el Dr. Javier López Upton del Colegio de Posgraduados, y la Dra. Hallie Eakin la Arizona State University que colabora con investigadores de la UNAM.

La principal institución que investiga temas relacionados es la UNAM, seguida de distintas universidades nacionales y estatales y algunas universidades estadounidenses que en este caso no se mencionaron para centrar el estudio a las instituciones mexicanas. La mayoría de la investigación se centra en el estudio del impacto potencial del cambio climático y las posibles estrategias de adaptación de sistemas biológicos, también se investiga sobre el impacto y las opciones en los sistemas geológicos, atmosféricos y hídricos, los estudios desde la ingeniería son escasos y se centran mayormente en la ingeniería civil hidráulica. Los investigadores mexicanos colaboran principalmente con investigadores estadounidenses,

¹⁸ *TS=(((Climat* chang*) or (cambio* climatico*)) and adapt* and mex*) and CU=Mexico* realizada el 18 de marzo del 2019

El algoritmo de búsqueda puede cambiar el asterisco por cualquier combinación de letras para filtrar todas las posibles variaciones de la palabra, por ejemplo adapt* se puede interpretar como adaptación, adaptation, adaptarse, adaptar, adaptate, etc.

generalmente en temas relacionados con la frontera y distintos recursos compartidos. Es importante destacar que de los diez países con los que México colabora en investigación en materia de adaptación solo dos son latinoamericanos aunque la mayoría de las publicaciones se realizan en conjunto con investigadores de la región América del Norte. Se puede observar que aproximadamente la mitad de las investigaciones en la materia publicadas por investigadores mexicanos, no son específicamente sobre México. En la mayoría de los casos se trata de casos de estudio de otros países donde colaboran autores mexicanos, pero también en algunos casos se trata de investigaciones sobre casos generales, aunque como ya se ha mencionado antes, la adaptación generalmente se trata de manera específica para cada región y contexto. Finalmente podemos observar que la investigación en la materia empezó a tomar fuerza desde el año 2011, posiblemente impulsada por la COP 13 en Cancún de 2011, que reforzó la importancia de la adaptación a nivel global.

Social

Actualmente existen pocas asociaciones civiles enteramente enfocadas a la adaptación, pero diversas asociaciones enfocadas a temas ambientales, sociales y de cambio climático ya llevan a cabo acciones relacionadas. En especial por la desigualdad de los impactos del cambio climático que tiende a afectar más a los que menos tienen, se espera que surjan asociaciones civiles que se enfoquen en las poblaciones más vulnerables. También se puede esperar un refuerzo de las asociaciones enfocadas a temas de protección ambiental en temas de adaptación por la amenaza que representa el cambio climático para todos los ecosistemas. Por otro lado, en especial en contextos rurales, la mayor parte de las acciones de adaptación se van a llevar a cabo de manera autónoma lideradas e implementadas por la sociedad civil. Una gran parte de la población afectada será quien tome las acciones pertinentes para limitar el impacto del cambio climático en su calidad de vida y medios de producción.

Finalmente, como se está observando hoy en día con los movimientos por la acción climática alrededor del mundo, la sociedad civil jugará un papel fundamental en generar presión para que los gobiernos, empresas y organismos internacionales tomen medidas necesarias para lidiar con esta problemática.

Actores internacionales

Por el concepto de justicia climática y el ambiente de cooperación internacional que se ha construido en materia de cambio climático, distintos organismos internacionales juegan un papel determinante en la adaptación de los países en desarrollo como México. La UNFCCC y distintas organizaciones asociadas, tienen el compromiso de brindar asesoría y en muchos casos financiamiento para la implementación de acciones de adaptación, ya sea en proyectos concretos o en el diseño de políticas públicas. El Banco Mundial es el principal fondeador externo de FONDEN, y en 2011 implementó su primer proyecto de adaptación en México llamado *Proyecto Adaptación ante el Impacto del Cambio Climático en los Humedales Costeros del Golfo de México* con un costo de 4.2 millones de dólares proporcionados principalmente por el Banco (Banco Mundial, 2018). También se identificó la participación

de gobiernos extranjeros, asociaciones de cooperación internacional, centros de investigación externos y asociaciones civiles internacionales en distintos procesos de adaptación en el país.

Ficha 4 | La investigación científica de adaptación climática en México

Análisis de publicaciones relacionadas con al menos un autor mexicano

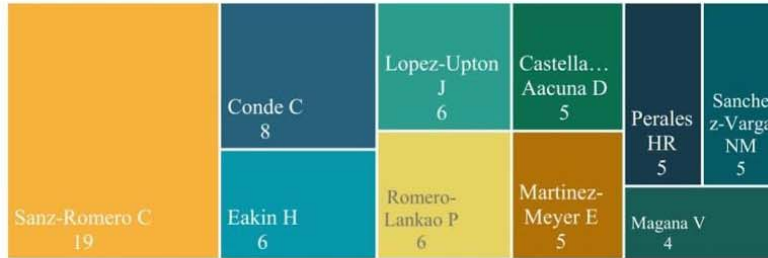


Figura | Principales autores

Principales fondeadores
 CONACyT, National Science Foundation,
 INECC, Interamerican Institute for global
 Change, USAID



Figura | Principales instituciones a las que pertenecen los autores



Figura | Principales áreas de estudio de las publicaciones

281 publicaciones relacionadas con adaptación al cambio climático **en México** publicadas por al menos **un autor mexicano**

517 publicaciones relacionadas con adaptación al cambio climático publicadas por al menos **un autor mexicano no forzosamente sobre México**



Figura | Principales nacionalidades de los autores conjuntos

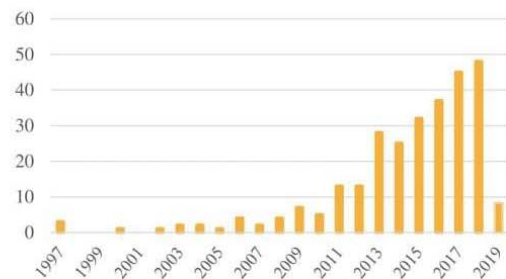


Figura | Distribución por fecha de las publicaciones

Resumen

Mientras que al inicio la acción climática se enfocaba principalmente en mitigación, hoy en día la adaptación se reconoce como una prioridad del mismo nivel. Toda estrategia de adaptación se integra de una combinación de uno o más de los siguientes elementos: *tipos* que se distinguen por los actores principales y el momento en el que se lleva a cabo (anticipativa, autónoma, planeada, privada, pública o reactiva); un *nivel* que define la escala espacial y organizacional (individual, comunitario, intermedio o estatal, nacional, internacional); un *acercamiento* que diferencia entre las principales metodologías utilizadas (orientado a impacto, vulnerabilidad, construcción de resiliencia, análisis de sensibilidad y riesgo, división de riesgos); y finalmente un enfoque que define el sector productivo o poblacional en el que se busca incidir y las especificidades que lo acompañan (sector social, infraestructura estratégica, basada en ecosistemas, basada en comunidades y reducción de riesgos). Se introdujo el concepto de justicia climática que responde al hecho que la mayoría de los países con menos recursos para enfrentar el cambio climático han contribuido poco para generarlo, por lo tanto existe una responsabilidad de los países desarrollados de apoyar a los menos desarrollados en sus acciones de adaptación y desarrollo sostenible. También se presentó el concepto de equidad climática que se refiere a la desigualdad en los efectos del CC y la ayuda distribuida a la población femenina, indígena, de escasos recursos y a distintos grupos minoritarios. Describimos los límites de la adaptación que se refiere a cuando los impactos son tan importantes que ninguna estrategia ni tecnología puede evitar que se sufran pérdidas como en el caso de la extinción de especies y la pérdida de territorio.

En el estudio centrado en México, comenzamos por describir el marco normativo para la adaptación que se articula en la LGCC. En la ENCC, y los NDCs se establecen metas a diferentes plazos. Los PECC definen los mecanismos y metas puntuales para cada sexenio y finalmente los tratados e instituciones internacionales construyen un marco internacional de apoyo, guía y financiamiento accesible para el país. Se describió el papel actual y potencial de los distintos actores de la adaptación en México con énfasis en la investigación científica relacionada a través de un estudio cuantitativo. Este estudio reveló que la mayoría de la investigación se realiza en temas biológicos y ecológicos buscando entender la manera en la que distintos cambios medidos influyen en organismos o ecosistemas y muy poca investigación se realiza sobre los aspectos tecnológicos de los retos de adaptación. También se puede observar una tendencia que nos permite prever un aumento de la investigación en estos temas en el futuro. Aunque es claro que se está construyendo una capacidad de acción en materia de adaptación en México, el marco normativo e institucional es aún débil comparado con el de mitigación ya que faltan más metas y mecanismos concretos para articular una capacidad de acción suficientemente robusta para enfrentar los retos del CC en el país. La capacidad de acción en materia de adaptación del sector privado y la academia presentan también un rezago frente a la de adaptación en parte por la falta de potencial económico directo. La sociedad civil y distintos organismos internacionales motivada por la protección ambiental y de las poblaciones más vulnerables es la que presenta más desarrollo en estos temas actualmente lo cual sugiere la posibilidad de que tomen un papel de liderazgo importante.

Bibliografía y anexos

- Banco Mundial. (2018). Promover la adaptación en México: protegiendo a las comunidades ante el impacto del cambio climático. Recuperado el 27 de marzo de 2019, de <http://www.bancomundial.org/es/results/2018/07/25/promover-la-adaptacion-en-mexico>
- Capps, K. (2018, octubre 3). Why Are These Tiny Towns Getting So Much Hurricane Harvey Aid? Recuperado el 29 de marzo de 2019, de www.citylab.com/equity/2018/10/whos-losing-out-on-hurricane-harvey-aid-in-texas/571327/
- CARE Climate Change. (2019). Recuperado el 25 de febrero de 2019, de <https://careclimatechange.org/>
- CENAPRED. (1991). *Centro Nacional de Prevención de Desastres*.
- Climate-ADAPT. (2018). Disaster risk reduction. Recuperado el 25 de febrero de 2019, de <https://climate-adapt.eea.europa.eu/eu-adaptation-policy/sector-policies/disaster-risk-reduction>
- Colls, A., Ash, N., & Ikkala, N. (2009). *Ecosystem-based Adaptation: a natural response to climate change* (Vol. 21). Iucn Gland.
- Gobierno de la República. Estrategia Nacional de Cambio Climático (2013). Recuperado de <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/41978/Estrategia-Nacional-Cambio-Climatico-2013.pdf>
- Gobierno de la República. (2016). Centro Nacional de Prevención de Desastres. Recuperado el 27 de marzo de 2019, de <https://www.gob.mx/cenapred/que-hacemos>
- Hoegh-Guldberg, O., Mumby, P. J., Hooten, A. J., Steneck, R. S., Greenfield, P., Gomez, E., ... Hatziolos, M. E. (2007). Coral reefs under rapid climate change and ocean acidification. *Science*, 318(5857), 1737–1742.
- Holt-Giménez, E. (2008). *Campesino a Campesino*. Servicio de Información Mesoamericano sobre Agricultura Sostenible.
- INECC. (2014). *Compromisos de mitigación y adaptación ante el cambio climático* (p. 4). Recuperado de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/162974/2015_indc_esp.pdf
- INECC. (2018). Adaptación al cambio climático. Recuperado el 1 de febrero de 2019, de <http://www.gob.mx/inecc/acciones-y-programas/adaptacion-al-cambio-climatico-78748>
- INECC. (2019). El Cambio Climático al frente. Recuperado el 24 de febrero de 2019, de http://elcambioclimaticodefrente.inecc.gob.mx/biblioteca_de_recursos/como_nos_afecta
- INECC, & CENAPRED. (2018). *Adaptación al cambio climático*.
- INEGI. (2013). Población. Rural y urbana. Recuperado el 3 de abril de 2019, de http://cuentame.inegi.org.mx/poblacion/rur_urb.aspx?tema=P
- Intergovernmental Panel on Climate Change. Working Group II. (2014). *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. IPCC Working Group II.
- KAPIII. (2014). Kiribati buys a piece of Fiji | Climate Change. Recuperado el 25 de febrero de 2019, de <http://www.climate.gov.ki/2014/05/30/kiribati-buys-a-piece-of-fiji/>
- LDC Expert Group. (2018). *National Adaptation Plans 2018*. UNFCCC. Recuperado de <https://unfccc.int/sites/default/files/resource/Progress%20in%20the%20process%20to%20formulate%20and%20implement%20NAPs.pdf>
- Major, D. C., & O’Grady, M. (2010). ADAPTATION ASSESSMENT GUIDEBOOK. *Annals of the New York Academy of Sciences*. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2010.05324.x>
- Munang, R., Thiaw, I., Alverson, K., Mumba, M., Liu, J., & Rivington, M. (2013). Climate change and Ecosystem-based Adaptation: a new pragmatic approach to buffering climate change impacts. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 5(1), 67–71.

- Richardson, K., Steffen, W., & Liverman, D. (2011). *Climate Change: Global Risks, Challenges and Decisions*.
- Schipper, E. L. F. (2006). Conceptual History of Adaptation in the UNFCCC Process. *Review of European Community and International Environmental Law*, 15(1), 82–92.
- Secretaría de la Defensa Nacional. (2015). ¿Qué es el Plan DN-III-E? Recuperado el 27 de marzo de 2019, de <https://www.gob.mx/sedena/acciones-y-programas/que-es-el-plan-dn-iii-e>
- SEGOB, & Mundial, B. (2012). *El Fondo de Desastres Naturales de México – Una Reseña*. Recuperado de proteccioncivil.gob.mx/work/models/ProteccionCivil/Almacen/fonden_resumen_ejecutivo.pdf
- SEMARNAT. (2014). *Programa Especial de Cambio Climático 2014-2018*. Recuperado de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/42488/Programa_especial_de_cambio_climatico_2014-2018_vdifusion.pdf
- SEMARNAT. (2015). *Contribución prevista y determinada a nivel nacional de México*. Recuperado de http://www.semarnat.gob.mx/sites/default/files/documentos/mexico_indc_espanolv2.pdf
- Thomasa, D. S. G., & Twymanb, C. (2005). Equity and justice in climate change adaptation amongst natural-resource-dependent societies. En N. Adger, N. Arnell, & E. Tompkins (Eds.), *Global Environmental Change*.
- UNCCD. (2018). Great Green Wall. Recuperado el 9 de abril de 2019, de <https://www.greatgreenwall.org/about-great-green-wall>
- UNFCCC. (2012). *THE NINE WORK AREAS OF THE NAIROBI WORK PROGRAMME*. Recuperado de https://unfccc.int/resource/docs/publications/09_nwp_wp_9areas_en.pdf
- UNFCCC. (2017). Approaches to address loss and damage associated with climate change impacts in developing countries. Recuperado el 28 de febrero de 2019, de <https://unfccc.int/topics/adaptation-and-resilience/workstreams/work-programme-loss-and-damage-front-page>
- Waller, N. L., Gynther, I. C., Freeman, A. B., Lavery, T. H., & -P. Leung, L. K. (2017). The Bramble Cay melomys *Melomys rubicola* (Rodentia : Muridae): a first mammalian extinction caused by human-induced climate change? *Wildlife research*, 44(1), 9.
- World Bank. (2018). Adaptation Fund. Recuperado el 28 de febrero de 2019, de <https://www.adaptation-fund.org/about>

Acciones de adaptación reconocidas en la ENCC

- La determinación de la vocación natural del suelo
- El establecimiento de centros de población o asentamientos humanos, así como en las acciones de desarrollo, mejoramiento y conservación de los mismos
- El manejo, protección, conservación y restauración de los ecosistemas, recursos forestales y suelos
- La conservación, el aprovechamiento sustentable, rehabilitación de playas, costas, zona federal marítimo terrestre, terrenos ganados al mar y cualquier otro depósito que se forme con aguas marítimas para uso turístico, industrial, agrícola, pesquero, acuícola o de conservación;
- Los programas hídricos de cuencas hidrológicas;
- La construcción y mantenimiento de infraestructura
- La protección de zonas inundables y áridas
- El aprovechamiento, rehabilitación o establecimiento de distritos de riego
- El aprovechamiento sustentable en los distritos de desarrollo rural
- El establecimiento y conservación de las áreas naturales protegidas y corredores biológicos;
- La elaboración de los atlas de riesgo
- La elaboración y aplicación de las reglas de operación de programas de subsidio y proyectos de inversión
- Los programas de conservación y aprovechamiento sustentable de la biodiversidad
- Los programas del Sistema Nacional de Protección Civil
- Los programas sobre asentamientos humanos y desarrollo urbano
- Los programas de desarrollo turístico
- Los programas de prevención de enfermedades derivadas de los efectos del cambio climático,
- La infraestructura estratégica en materia de abasto de agua, servicios de salud y producción y abasto de energéticos.

Ámbitos de la adaptación en la ENCC

- Los programas de prevención de enfermedades derivadas de los efectos del cambio climático,
- La infraestructura estratégica en materia de agua, servicios de salud y producción de energéticos.
- Ecosistemas y biodiversidad, en especial de zonas costeras, marinas, de alta montaña, semi áridas, desérticas, recursos forestales y suelos
- Energía, industria, servicios e Infraestructura de transportes y comunicaciones
- Ordenamiento ecológico del territorio, desplazamiento interno de personas provocado por fenómenos relacionados con el cambio climático, asentamientos humanos y desarrollo urbano
- Salubridad general e infraestructura de salud pública

Contribuciones Nacionalmente Determinadas no condicionadas de adaptación

Sector Social

Garantizar la **seguridad alimentaria** y de **acceso al agua** ante las crecientes amenazas climáticas mediante la gestión integral de la cuenca, la conservación de la biodiversidad y de suelos.

Invertir e incrementar la proporción del **financiamiento para la prevención** de desastres hidrometeorológicos con respecto al de la atención de desastres.

Asegurar la **capacitación y participación** de la sociedad, comunidades locales, grupos indígenas, mujeres, hombres, jóvenes, organizaciones civiles y sector privado en la **planeación de la política nacional** y sub-nacional de cambio climático.

Reducir la **vulnerabilidad** de la población e incrementar su **capacidad adaptativa** mediante los sistemas de alerta temprana, gestión de riesgo, así como los sistemas de monitoreo hidrometeorológico, en todos los órdenes de gobierno.

Fortalecer la capacidad adaptativa de la población mediante mecanismos transparentes e incluyentes de **participación social**, diseñados con **enfoque de género y derechos humanos**.

Reducir la vulnerabilidad de la población mediante **instrumentos de planeación territorial** y gestión del riesgo como el Atlas Nacional de Vulnerabilidad y el Atlas Nacional de Riesgos.

Prevenir las **enfermedades** exacerbadas por el cambio climático mediante el sistema de alerta temprana con información epidemiológica.

Reubicar **asentamientos humanos irregulares** en zonas de riesgo de desastres mediante la regulación del uso del suelo.

Reducir en al menos un **50%** el número de **municipios** clasificados como **más vulnerables** en el PECC 2014- 2018 y evitar que otros entren en esta categoría.

Basada en Ecosistemas

Alcanzar en el 2030 una tasa **0%** de **deforestación**.

Reforestar las **cuencas** altas, medias y bajas con especial atención a las zonas riparias y considerando especies nativas del área.

Conservar y restaurar los **ecosistemas** para incrementar la **conectividad ecológica** entre todas las Áreas Naturales Protegidas y otros esquemas de conservación mediante corredores biológicos y actividades productivas sustentables. Este enfoque tomará en cuenta la participación equitativa de la población y tendrá un enfoque territorial.

Incrementar sustancialmente los **Programas de Acción y Conservación de Especies** para fortalecer la protección de especies prioritarias ante los impactos negativos del cambio climático.

Aumentar la **captura de carbono** y fortalecer la **protección costera** con la implementación de un esquema de conservación y recuperación de ecosistemas marinos y costeros como arrecifes, manglares, pastos marinos y dunas.

Garantizar la **gestión integral del agua** en sus diferentes usos (agrícola, ecológico, urbano, industrial, doméstico)

Infraestructura Estratégica y de los Sistemas Productivos

Ejecutar programas de **reubicación de infraestructura** que se localice en **zonas de alto riesgo** en destinos turísticos prioritarios e instrumentar acciones de restauración de los sitios desocupados.

Incorporar criterios de cambio climático en **programas agrícolas y pecuarios**.

Garantizar el **tratamiento de aguas residuales** urbanas e industriales, asegurando la cantidad y buena **calidad del agua**, en asentamientos humanos mayores a 500,000 habitantes, y monitorear su funcionamiento.

Aplicar la **norma de especificaciones de protección ambiental y adaptación** ante los efectos adversos del cambio climático en la planeación, diseño, construcción, operación y abandono de **desarrollos inmobiliarios turísticos** en ecosistemas costeros.

Garantizar la **seguridad de presas** y obras de **infraestructura hidráulica estratégica**, así como la de **comunicaciones y transportes**.

Fortalecer la **diversificación agropecuaria sustentable** a través de la conservación de **germoplasma y maíces nativos, confort térmico en ganado, desarrollo de agroecosistemas**, mediante la integración de criterios de cambio climático en los programas agrícolas y pecuarios.

Capítulo 3 | Tecnologías para la adaptación

En muchos casos, la adaptación se puede reducir a algunos cambios en los hábitos de una población, como cambiar de trabajo o ajustar ciclos agrícolas, pero en muchos otros el desarrollo e implementación efectiva de tecnología puede ser la diferencia entre evitar fuertes pérdidas por causas climáticas o someterse a ellas. Algunas de esas tecnologías ya existen puesto que son el resultado de muchos años en los que los seres humanos han adaptado sus medios de producción y subsistencia a diferentes climas. En esos casos, es necesario asegurar que las tecnologías se implementen donde se necesitan. Cuando los eventos climáticos sean tan intensos, o la necesidad de proteger bienes o poblaciones sea tan grande, nos enfrentaremos a retos completamente nuevos, por lo que será necesario el desarrollo de tecnología nueva.

Al contrario de la mitigación donde las acciones y la tecnología están principalmente enfocadas en un sector en específico, la energía y el transporte, la adaptación está dispersa en todos los sectores y todos los niveles. Cada sector enfrenta diferentes retos e involucra a una multiplicidad diferente de actores. Dentro de su complejidad y diversidad, es importante encontrar una clasificación que permita estudiar las diferentes tecnologías e identificar los retos. La ONU, reconoce el papel de la tecnología en la adaptación al cambio climático por lo que lanzó la iniciativa para que los diferentes países acompañen sus INDCs con una Evaluación de sus Necesidades Tecnológicas para enfrentar el CC (TNA por sus siglas en inglés). Esta iniciativa la dirige el Comité Ejecutivo de Tecnología (TEC por sus siglas en inglés). Actualmente 42 países han llevado a cabo esta evaluación, pero México no es uno de ellos. Este estudio sigue parte de la metodología recomendada para producir las TNA publicada por el TEC. Muchas de las tecnologías aquí expuestas son tomadas de la plataforma <http://www.climatetechwiki.org/>, desarrollada por la ONU y propuesta en las guías para las TNA como la principal fuente para encontrar y familiarizarse con las tecnologías para la adaptación.

La tecnología se refiere los medios basados en conocimientos científicos y/o empíricos¹⁹ para transformar el medio físico y digital, o las relaciones humanas conformadas para la producción de bienes o servicios (Olhoff, 2015). En términos generales, las tecnologías se pueden clasificar en:

- Hardware – se refiere a tecnologías a duras, constituidas de materia y que manipulan el medio físico o permiten la manipulación del medio digital.
- Software – se refiere a tecnologías suaves, que se componen de conocimiento aplicado a metodologías incluyendo planeación y sistemas de apoyo para la toma de decisiones, modelos, transferencia de conocimiento y habilidades constructivas necesarias para permitir adaptación.

¹⁹ Surge de la observación e interacción con la realidad. Se basa en un relación de causa y efecto que puede ignorar la naturaleza precisa de la causa y el efecto. Puede ser transmitido por diferentes medios sin involucrar procesos de entendimiento y modelación manteniendo su carácter empírico.

- Orgware – tecnologías organizativas, como los arreglos organizativos, de propiedad e institucionales necesarios para la implementación exitosa y sustentable de soluciones de adaptación.

(Olhoff, 2015)

En este estudio reconoceremos tecnologías para la adaptación como todas aquellas que contribuyan a que una población, sector, sistema geológico o ecosistema pueda disminuir el impacto de los efectos del cambio climático en poblaciones humana, ecosistemas o bienes materiales al igual que aprovechar efectos beneficiosos si existen. Como se muestra en la Figura 12, las tecnologías para la adaptación replican en cierta medida los elementos de la sustentabilidad pero considerando los efectos actuales y futuros del cambio climático. Esta transformación del diagrama y la definición común de sustentabilidad²⁰ representa un cambio conceptual importante ya que, por efectos del CC, el ámbito social, ambiental y económico pueden sufrir importantes cambios en el futuro que deben ser considerados cuándo se pretenda implementar una tecnología que enfrente problemáticas actuales sin comprometer a las generaciones futuras.

Este capítulo se centrará principalmente en las tecnologías duras porque son las que permiten un estudio técnico desde la ingeniería mecánica, mientras que los otros dos casos

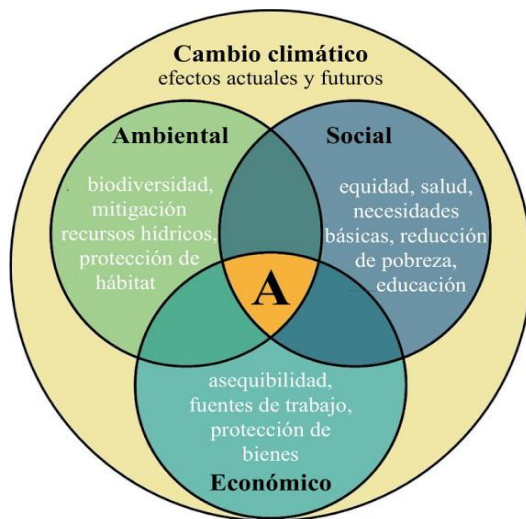


Figura 12 | Componentes de las tecnologías para la adaptación

Fuente: Elaboración propia

son más pertinentes para la ingeniería industrial entre otras. En el capítulo siguiente referente a la innovación se tratarán también las otras dos categorías de tecnologías para la adaptación porque se considera que hay mucho espacio y necesidad de innovación en estas categorías, que las diferentes ingenierías deben tener participación en su desarrollo y mejora, y que deben tratarse de manera simultánea y conjunta con el desarrollo de tecnologías duras.






Las tecnologías de la adaptación se dividieron en ocho sectores para las cuales se explicarán los retos principales y las especificidades de cada sector, se describirán algunas tecnologías pertinentes a México y de ser posible algún

ejemplo puntual de una empresa o proyecto mexicano. Para cada tecnología se mencionan algunas áreas donde se requiere más investigación e innovación tecnológica que nosotros consideramos o rescatamos de otros autores. Cada tecnología estará también acompañada de una caracterización en las áreas descritas en la Tabla 15. No se evalúa el impacto potencial puesto que, contrariamente a la mitigación donde se compara entre cantidades de GEI absorbidas o no emitidas, en la adaptación no contamos con herramientas que permitan

²⁰ Se define el desarrollo sostenible como la “satisfacción de las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades” (Naciones Unidas, 2012)

comparar y jerarquizar los diferentes tipos de pérdidas (pérdidas monetarias, culturales o vidas humanas y animales). La categorización que seleccionamos se relaciona con los elementos de la adaptación estudiados en el capítulo anterior para estrechar la relación entre tecnología y estrategias de adaptación.

Tabla 15 | Caracterización de las tecnologías para la adaptación

Escala	Hogar o negocio familiar, comunidad, ciudad, región	
Tipo de respuesta	Preventiva o reactiva	
Nivel tecnológico	Baja, mediana o alta tecnología	
Costo	Bajo, medio, alto	
Basada en ecosistemas		

Fuente: Elaboración propia

El principal enfoque en esta sección es presentar algunas de las problemáticas asociadas al cambio climático más relevantes en México y algunas tecnologías que podrían contribuir a enfrentarlas. La complejidad del CC genera que sea imposible predecir todas las posibles consecuencias y por lo tanto prever todas las necesidades tecnológicas. En esta sección no se presentan todas las tecnologías que México podría necesitar para adaptarse al CC. Solo se mencionan algunas que pueden permitir entender mejor el tipo de tecnologías necesarias para sentar las bases de una propuesta de estrategia de potencialización de la innovación.

Zonas Costeras y fenómenos hidrometeorológicos extremos

El 19% de los municipios de México se encuentran en zonas costeras de baja altitud (Azuz-Adeth & Rivera-Arriaga, 2009). Estas zonas están especialmente expuestas a diversos efectos del cambio climático. El aumento del nivel del mar, proyectado en 0.5m para un calentamiento 1.5C, inundará diversas zonas con altitud menor al aumento (IPCC, 2018). Pero también está comprobado que incrementa la penetración del oleaje y las mareas contribuyendo con la inundación de zonas a altitudes superiores al aumento del nivel del mar (Hinojosa, Appendini, de Lourdes Mexicano, & Padilla, 2014). Este fenómeno sumado a otras variaciones en el mar y la atmósfera, como corrientes y distribución de temperaturas, suscita un aumento en la intensidad y frecuencia de fenómenos meteorológicos extremos, como huracanes, mares de fondo y tormentas con especial impacto en las zonas costeras. Los efectos principales son la pérdida de biodiversidad marina, daños a infraestructura costera (casas, hoteles, puertos, granjas piscícolas, etc), erosión de playas, submersión de tierra útil, inclusión salina en terreno fértil y reservas de agua, entre otros. De cada uno de estos impactos físicos, se detonan un gran número de efectos sociales y ecológicos que ponen en riesgo la vida y la calidad de vida de personas. Algunos entornos costeros son más vulnerables, como los deltas, las islas, los estuarios, las lagunas, los manglares y los arrecifes.

Las tecnologías para la adaptación en zonas costeras se pueden dividir en 3 categorías principales: *proteger* infraestructura, paisajes y ecosistemas; *relocalizar* infraestructura, especies y desarrollo turístico e inmobiliario; *adecuar* prácticas, protocolos, infraestructura y medios de producción a los nuevos efectos climáticos.

Tabla 16 | Categorías de tecnologías para la adaptación en zonas costeras

Proteger	Relocalizar	Adecuar
<ul style="list-style-type: none"> ● Estructuras rígidas - diques, muros oceánicos, barreras contra marea, rompeolas ● Estructuras flexibles - dunas, relleno de playas, restauración o creación de manglares y arrecifes ● Opciones nativas - barreras de madera, rocas o reciclaje, reforestación 	<ul style="list-style-type: none"> ● Establecer zonas y líneas de seguridad ● Relocalización de edificios ● Establecer zonas de transición en el borde de humedales y manglares 	<ul style="list-style-type: none"> ● Sistemas de alerta temprana y mecanismos de evacuación ● Nuevas técnicas de agricultura como variedades resistentes a la sal ● Drenajes mejorados ● Sistemas de desalinización

Fuente: (Adaptation, Technology and Science Programme, 2006)

Las tres categorías representan acciones en etapas diferentes del avance del cambio climático. Proteger y adecuar presenta límites cuando los efectos son muy intensos y solo es posible relocalizar.



Biorock: regeneración eléctrica de corales

Es un [proceso patentado en 1979](#) por Wolf Hilbertz y Thomas Goreau, que buscaba minar el agua de mar para obtener materiales de construcción. Más tarde, estos investigadores descubrieron que también es un método barato y rápido para construir hábitat marino como estrategia de conservación, maricultura y protección costera. El proceso es una precipitación de minerales que genera el crecimiento de roca calcárea alrededor de cables de acero que son



atravesados por corrientes de bajo voltaje. Como barrera oceánica, ha demostrado funcionalidad tanto para la reducción de erosión como para disminuir los daños causados por huracanes y tormentas.



El sedimento producido por las biorocks impide la oxidación y degradación de la estructura evitando contaminar el agua. Contrariamente a otros corales artificiales que se instalan con el fin de proveer hábitat marino o barreras costeras y solo se disuelven con el tiempo alterando la composición del agua. Por ejemplo los proyectos de hundir barcos inutilizados o el caso famoso del

arrecife Osborne en Florida construido con dos millones de llantas hundidas con cemento mostrado en la imagen que es considerado un desastre ambiental.

El material producido por el proceso de biorock tiene propiedades mecánicas similares al concreto portland pero con capacidad regenerativa, lo que lo hace apto para protección contra tormentas. Un kilowatt hora genera entre 0.4 y 1.5 kg de bioroca entre uno y seis meses (Furqan, 2010; Ortega, 1989).



Los sistemas oscilan entre los 2 y 16 voltios con una corriente de 0.03 a 3 amperes por metro cuadrado de área superficial. Las características de la electricidad necesaria para mantener uno de estos sistemas hace que sea posible alimentarlos con fuentes renovables de pequeña escala, principalmente paneles solares.

Actualmente se han instalado sistemas con esta tecnología en más de 30 países incluyendo el museo subacuático de Cozumel. Es parte del programa de restauración de arrecifes más grande del mundo en las islas Gili de Indonesia (Goreau, 2011).



Figura 13 | Antes y 1.5 años después de instalación de barreras biorock en Palau Ganga en 2014

Fuente: (Hilbertz & Goreau, 2007)

Perspectivas de innovación tecnológica: fuentes de energía renovable más cercanas al sistema (maremotriz, gradiente salino, solar o eólica flotantes); como estrategia de reciclaje a gran escala; geometrías optimizadas para hábitat y barreras marinas; aumento de eficiencia energética.

Sistemas integrales de alerta y respuesta temprana



Constituidos de diferentes elementos con la función de permitir una respuesta anticipada de la población frente a fenómenos hidrometeorológicos extremos para evitar o disminuir pérdidas. Los distintos tipos de sistemas de monitoreo permiten alertar con diferente antelación sobre la probabilidad e intensidad de un fenómeno, pero la efectividad del sistema depende en gran medida de la capacidad de respuesta de la población y las autoridades. La tecnología puede ser in-situ o de monitoreo remoto y ser operada por dependencias gubernamentales o privadas o por las comunidades locales.

Actualmente, el gobierno de Cuba está implementando un proyecto de manejo integral de riesgo que incluye sistemas de alerta temprana coordinados; estudios de riesgo y vulnerabilidad; sistemas de comunicación; manejo de bases de datos y mapeos; y preparación de las comunidades (UNDP, 2015). Este modelo fue concebido para ser exportable a otras islas de la región para extender el alcance del sistema y constituir una poderosa herramienta de protección conjunta en el



caribe. Actualmente ya se ha implementado parte del modelo en Jamaica, República Dominicana, Guyana, Las islas Vírgenes Británicas y Trinidad y Tobago (Technology Executive Committee - IPCC, 2018; TEC & United Nations Office for South-South Cooperation, 2018).

Perspectivas de innovación tecnológica: Integración de sistemas a distintas escalas (comunitario a regional) para construir redes inteligentes de respuesta y apoyo; disminuir costos y facilitar uso para población no especializada;

Rehabilitación o creación de dunas de arena



Las dunas crean una barrera costera con la función de reducir y cambiar patrones de aire e impedir la penetración de olas, mareas y tormentas. Su función es impedir inundaciones y reducir la erosión de playas y ecosistemas asociados. Al contrario de otras tecnologías con fines similares, esta implica poca o nula transformación y transporte de materiales como acero y cemento, puesto que solo reacomoda sedimento presente en la playa o a poca distancia de la costa. Por la dinámica de las playas, las dunas pueden servir como almacén de arena en la temporada de altas mareas, y suministrar arena en la temporada de mareas bajas cuando normalmente la playa se erosiona. (Xianli Zhu, Linham, & Nicholls, 2010)



Perspectivas de innovación tecnológica: Maquinaria especializada para mover y acomodar la arena; mejorar entendimiento de la interacción entre este y otros sistemas de protección costera para consolidar estrategias integrales y efectivas; optimizar materiales y estructuras soporte para las dunas.

Regeneración de playas



Consiste en la adición artificial de arena como respuesta a la erosión costera y con beneficios de reducción de inundaciones. Esta tecnología se usa desde hace tiempo con fines turísticos e inmobiliarios, pero se espera que sea cada vez más necesaria y que las playas regeneradas requieren más



mantenimiento por el aumento de mareas y eventos hidrometeorológicos.

Perspectivas de innovación tecnológica: maquinaria asequible y eficiente, nuevos métodos de mantenimiento; sinergia con otras tecnologías de protección costera

Mapeo de zonas en riesgo de inundación



Consiste en determinar, mediante mediciones satelitales y/o terrestres, las áreas en peligro de inundación por agua de mar. Es un componente vital de la planeación territorial y el urbanismo futuro y permite desplegar las tecnologías y medidas necesarias para evitar impactos como erosión y derrumbes. El mapeo depende de Sistemas de Información Geográfica que, junto con predicciones de eventos climáticos y subida del nivel del mar, generan mapas de riesgo.



Perspectivas de innovación tecnológica: sistemas mejorados con mayor confiabilidad, actualización y definición; manejo de grandes volúmenes de datos para mapeo automático y continuo y seguimiento de los movimientos del agua.

Reclamación de tierra



A causa de la pérdida de territorio por el aumento del nivel del mar, esta estrategia plantea redefinir la línea costera para obtener más tierra útil para vivienda o producción. También se puede usar como estrategia de defensa costera creando zonas de sacrificio, almacenamiento de agua y resistencia hidrodinámica entre el mar y zonas de protección. Se puede ganarle tierra al mar subiendo el nivel de una zona con material de relleno del lecho marino o terrestre o creando diques de materiales naturales o compuestos fabricados y bombeando el agua fuera de la zona.



Un ejemplo destacable es la isla artificial Semakau en Singapur que está hecha de basura. Se conoce como el único relleno sanitario turístico ya que no huele y está cubierto de vegetación. Está construido con un dique hecho de una membrana y arcilla

que retiene la basura incinerada y la compactada. Todo este material se procesa en plantas gasificadoras dispuestas sobre la isla que aprovechan el calor producido y controlan sus emisiones de CO₂ para ser un proceso de emisiones netas negativas (Agencia de Medio Ambiente de Singapur, 2017; “National Environment Agency”, 2019). Esta tecnología también puede ser muy útil para luchar contra la pérdida de hábitat de especies terrestres costeras y aves.

Perspectivas de innovación tecnológica: Disminución de costos mediante sinergia con tecnologías de defensa costera;

Producción alimenticia

La mayoría de la alimentación humana proviene de agricultura o ganadería, y una parte de la pesca, recolección y caza. La agricultura de temporal y la pesca son extremadamente sensibles a cambios climáticos, por lo que este sector se considera uno de los más críticos en materia de adaptación. Hoy en día hay en México 1.5 millones de niños menores de 5 años en desnutrición, y aproximadamente 852 millones de personas en todo el mundo (Urquía-Fernández, 2014). Si bien se han hecho importantes esfuerzos a nivel global para enfrentar esta problemática entre 1995 y 2008, la tasa de disminución de la malnutrición infantil se ha alentado, permitiendo que hoy en día aún sea una problemática latente (Ídem). Además se espera que para el 2030 la población aumente mil millones y en 2050 se sitúe aproximadamente en 9.7 mil millones (Naciones Unidas, 2015). En el Assessment Report 5, el IPCC proyecta para América Latina una gran caída en las cosechas de los granos principales (maíz y trigo) con especial riesgo para la agricultura de subsistencia por cambios paulatinos en las condiciones climatológicas y la disponibilidad de agua. En efecto, la seguridad alimentaria es uno de los retos más importantes para enfrentar un futuro con clima cambiante, desigualdad latente y población creciente.

Las plantas y animales, tienen distintos mecanismos para adaptarse a cambios climáticos, como alterar sus ciclos de vida y reproductivos o trasladarse a zonas con climas más adecuados como las poblaciones marinas. La problemática se sitúa en la capacidad de los humanos en mantener la productividad de los sistemas agrícolas y la explotación animal frente a un clima cambiante. Algunas de las estrategias necesarias para lograrlo son simplemente adecuarse a la adaptación natural de las plantas y animales, como plantar y cosechar en momentos diferentes, cambiar variedades o pescar en otras zonas. Pero en muchos casos se necesita otro tipo de intervención humana.

Las comunidades agrícolas han pasado muchas generaciones acumulando conocimiento sobre cómo producir en su territorio, integrado por biota, topografía, suelos y clima. Con la expansión urbana, la tecnificación del campo, las presiones de mercado y otros factores, todas estas características territoriales se transforman continuamente pero, a excepción de los casos de deforestación intensa o cambios importantes en la hidrología (creación o desaparición de lagos), el clima ha experimentado pocas variaciones. El cambio climático implica que algunas cosechas no puedan seguir creciendo del mismo modo donde

antes lo hacían y por lo tanto conocimientos que se han usado por generaciones en una zona dejen de ser efectivos. Esto puede implicar por un lado la necesidad de generar nuevos conocimientos para poder seguir produciendo en una zona, pero también implementar los conocimientos locales de otra zona que contaba con el clima que ahora se percibe en la anterior. Por esta razón, la transferencia de conocimientos toma un papel especialmente importante en la adaptación del sector de producción primaria de alimento. Hay distintos medios para impulsar la transferencia de tecnología, como la metodología campesino a campesino que se mencionó antes, las redes regionales de cooperación, y la vinculación entre productores, gobierno, academia y sector privado.

Para asegurar la seguridad alimentaria futura en el mundo hay dos propuestas que aparecen con más frecuencia. Por un lado la modificación genética de plantas y animales para que puedan resistir mejor las presiones ambientales y climáticas futuras, por el otro la agroecología como el conjunto de principios fundamentales para permitir la producción alimentaria de manera sustentable, justa y equitativa. Los partidarios de la primera opción aseguran que se pueden generar organismos genéticamente modificados (OGM) que producen más beneficios que impactos negativos y que es la única manera de asegurar la producción alimentaria futura; mientras que en muchos casos conciben la agroecología como un ideal demasiado difícil de implementar a escala suficientemente grande. Las instituciones y especialistas que promueven la agroecología consideran que es la única manera de producir sin poner en riesgo la salud actual y futura de los ecosistemas terrestres y los trabajadores de la tierra y presenta un gran número de cobeneficios sociales y ambientales; mientras que los OGM presentan riesgos documentados como la pérdida de diversidad y la pérdida de libertad del campesinado y algunos difícil o imposible de comprobar hasta que se implementen a gran escala como los riesgos a la salud y su impacto real en los ecosistemas. Cuando tuve la oportunidad de ir a la COP 22 en Marruecos, tuve la impresión de que la opinión generalizada abogaba por el uso de los OGM, mientras que hoy en día escucho mencionar la agroecología en casi cada evento sobre cambio climático. En la guía para evaluar las necesidades tecnológicas de la agricultura publicada por la UNFCCC, se proponen 22 tecnologías basadas principalmente en la agroecología porque reconoce que todas aquellas que tiendan a homogeneizar el ambiente natural disminuyen la resiliencia de los ecosistemas lo que aumenta drásticamente su vulnerabilidad climática (X. Zhu, Clements, & Haggard, 2011). Uno de los ejemplos más famosos y destacables es la transformación de la agricultura cubana intensiva para exportación a un sistema diversificado, distribuido y sostenible que produce la mayoría de los alimentos necesarios de la isla (Our Changing Climate, 2018). En esta tesis también se estudiarán soluciones orientadas hacia la agroecología antes que cualquier solución que implique OGM y variedades híbridas.

Manejo forestal y bioenergía



El cambio climático incrementará en gran medida la frecuencia e intensidad de los incendios forestales. Además de las pérdidas humanas, materiales y biológicas que implican, también generan un efecto de retroalimentación con importantes volúmenes de emisiones de GEI.



Esta estrategia pretende la explotación controlada de los bosques para producir bioenergía y otros recursos y al mismo tiempo proteger, sanear y valorizar los bosques a través de la inclusión de las comunidades locales mientras se mitiga y secuestra carbono. “En México hay recursos biomásicos suficientes para satisfacer al menos una tercera parte del consumo de energía primaria” (Macera et al., 2006) mayoritariamente como producto del manejo forestal y de selvas (Ídem). Este potencial también se reconoce en la ENCC como una de las acciones de adaptación con mayor potencial de mitigación (ver Figura 9 Capítulo 2).

Perspectivas de innovación tecnológica: biodigestores, gasificadores, turbinas de gas de síntesis, motores stirling, estufas gasificadores, hidrógeno y demás sistemas de aprovechamiento de la biomasa mejorados y accesibles; tecnología y técnicas mejoradas de recolección de material orgánico en bosques y selvas de bajo impacto

Irrigación alternativa



“La mayor parte del país se volverá más seca y las sequías más frecuentes, con el consecuente aumento de la demanda de agua particularmente en el norte del país y en zonas urbanas.” (SEMARNAT, 2014). Por lo tanto, son necesarios sistemas que puedan aprovechar al máximo el agua de lluvia, regar con menos agua y/o fuentes de agua innovadoras. Existen sistemas accesibles y sencillos para la agricultura de subsistencia, como riego por goteo, vasijas de barro



que regulan la humedad, manipulación topográfica para evitar escurrimiento, canaletas, sistemas de bombeo pasivo, o la lluvia sólida inventada por el mexicano Sergio Rico que se presenta como una poderosa herramienta para luchar contra



la escasez de agua. También hay opciones con un nivel tecnológico mayor para la agricultura a gran escala como los sistemas de riego a presión que simulan la lluvia, el riego automatizado, desalinización, tratamiento de aguas, hidroponía entre otros. Estas metodologías pueden también reducir la sobreexplotación de mantos acuíferos aumentando la seguridad hídrica actual y futura.

Perspectivas de innovación tecnológica: optimización y reducción de costos, tecnologías de autoconstrucción y mantenimiento, desalinización y tratamiento de agua de bajo costo

Manejo integral de poblaciones biológicas



Las plagas suelen estar asociadas a un mal funcionamiento del ecosistema. La variabilidad climática puede incrementar esta problemática empujando a poblaciones a trasladarse a zonas que no cuentan con suficientes depredadores. Es posible entender y cambiar lo que permite la reproducción acelerada de estas poblaciones o desarrollar las técnicas para aprovecharlas y valorarlas disminuyendo el uso químicos nocivos para el ecosistema. Un ejemplo interesante es la empresa brasileña Strider que utiliza tecnología big data para hacer monitoreo remoto de condiciones del campo y de poblaciones para poder proponer soluciones en tiempo real que impliquen bajo consumo de agroquímicos.



Perspectivas de innovación tecnológica: trampas para plagas, sistemas de diagnóstico de suelos remotos

Agricultura flotante



En zonas que se inundan durante largos periodos, se pueden adaptar técnicas para mantener o mejorar la productividad agrícola de la zona. Se construyen con diferentes



materiales biológicos para crear grandes camas de tierra cultivable con humedad regulada. Es importante asegurar que puedan resistir cambios y movimientos en el agua y tormentas. En el centro de México se implementan desde hace tiempo pero con el aumento de inundaciones habrá cada vez más zonas donde pueda ser una solución necesaria. Este tipo de tecnología se puede

implementar también en zonas costeras para ayudar a rehabilitar manglares y sus

ecosistemas y formar barreras costeras que protegen poblaciones de tormentas y mareas (Deutsche Welle, 2019).

Perspectivas de innovación tecnológica: biomembranas para construcción rápida y económica, plantas para bioenergía de agua salada, reforzar capacidades de barreras

Cuidado de ganado



Los cambios en el clima y los FHE pueden tener implicaciones fuertes en la salud y productividad del ganado. Son necesarias estrategias para evitar enfermedades, mantener la higiene, disponer de cadáveres, monitorear salud, y otras tareas que serán más comunes y relevantes con efectos del cambio climático. Una propuesta con popularidad creciente en América Latina es la silvicultura y ganadería de bosque. Además de evitar la deforestación, se ha comprobado que el cambio de dieta reduce la producción de metano del ganado y lo mantiene sano con menos necesidad de agua y químicos.



Perspectivas de innovación tecnológica: sistemas de medición GEI del ganado de libre pastoreo,

Almacenamiento de semillas y granos



Además de las pérdidas potenciales de cosechas, los sistemas de almacenamiento pueden no estar adaptados al CC. La seguridad de las semillas es clave para la seguridad alimentaria. Estos sistemas deben tener la capacidad de controlar temperatura, humedad, luz, plagas e higiene frente a la variabilidad climática y sus implicaciones físicas y biológicas.



Perspectivas de innovación tecnológica: disminución de costos, control pasivo, integración con energías renovables, integración en sistemas de transporte

Piscicultura y acuicultura sustentable



Los cambios en el océano contribuirán en gran medida con la tendencia de disminución de vida marina. Los cambios en temperatura promoverán la migración de especies marinas hacia zonas con menor temperatura generalmente lejos del ecuador. Para las comunidades pescadoras, esto implica nuevos retos para subsistir. Para el resto del país implica una disminución y encarecimiento en los productos del mar poniendo en riesgo la seguridad



alimentaria. La piscicultura moderna se presenta como una solución posible, mientras se pueda llevar a cabo de manera sustentable y proporcione una fuente de empleo digna. Un ejemplo es la empresa mexicana Maricultura Vigas que tecnología basada en control regenerativo para operar remotamente sistemas biofloc en granjas de camarones. Contrariamente a las granjas convencionales, esta tecnología no contamina grandes cantidades de agua ya que no necesita desechar el contenido de sus albercas porque se filtra gracias a un proceso bacteriano que simula un ecosistema natural. Ellos afirman que producen 400% más camarones por hectárea con el 1% del agua comparado con una granja convencional de camarones.

Perspectivas de innovación tecnológica: sistemas de regulación de condiciones efectivos y eficientes, integración con energías renovables

Sistemas locales de monitoreo del cambio climático



Para implementar políticas y estrategias efectivas es necesario monitorear de cerca los cambios en el clima en especial de regiones de alta sensibilidad, como aquellas con subsistencia principalmente de la agricultura. Estos sistemas integran observaciones satelitales, monitoreo en piso y predicciones climáticas y del tiempo junto con mecanismo de difusión y respuesta a la información obtenida. Los sistemas de monitoreo climático generalmente tienen una definición de malla muy grande que puede no funcionar para la toma de decisiones en regiones más pequeñas. Con este tipo de



sistemas locales, los municipios y comunidades pueden realizar predicciones que les permitan tomar decisiones preventivas para adaptar la producción agrícola.

Perspectivas de innovación tecnológica: diseños para construcción y mantenimiento comunitario, mecanismos de predicción mejorados, integración de sistemas a diferentes escalas

Terrazas por barreras vivas



La agricultura convencional en zonas montañosas puede generar fuerte erosión del suelo por escurrimiento de agua y nutrientes. Las terrazas permiten retener agua de lluvia y tierra y con el tiempo aumentar la calidad del suelo disminuyendo la dependencia de agroquímicos. Se construyen con el tiempo por efectos naturales al colocar plantas y rocas que siguen las líneas topográficas que alentan el escurrimiento del agua almacenando



sedimento y formando terrazas planas y horizontales. Existen diferentes métodos para identificar las líneas topográficas, uno de ellos involucra un triángulo de madera de metro y medio con una plomada que registra el ángulo de la tierra.

Perspectivas de innovación tecnológica: aceleración de formación de terrazas

Agua

Según CONAGUA en México en 2014, 23% del agua superficial estaba contaminada, 10 millones de personas no contaban con acceso a agua potable mientras que se pierde cerca del 40% del agua que entra a las ciudades en fugas (Conagua, 2014). La mayoría de nuestros mantos acuíferos se sobreexplotan (Ídem). El 47% de las aguas residuales colectadas recibe tratamiento y solo una pequeña fracción cumple con las normas de calidad (Ídem). El reto para abastecer nuestras necesidades actuales de consumo de agua en los hogares y la industria sin poner en riesgo el abasto futuro es grande, pero el reto futuro es mucho mayor. En efecto, “es generalmente aceptado que uno de los impactos más grandes del cambio climático es en el ciclo hidrológico” (Bertule, Appelquist, Spensley, Trærup, & Naswa, 2017). Enfrentar la crisis de agua actual y futura es un imperativo para asegurar la calidad de vida y la salud económica del país y la región. La mayoría de los países de América Latina que publicaron sus TNA, identificaron el agua como su segunda prioridad en materia de adaptación después de la agricultura (UNEP DTU & TTClear, 2018).

En esta sección vamos a describir algunas tecnologías que pueden apoyar a la adaptación de México en relación con los 4 retos relacionados al agua mencionados en la Tabla 17. La problemática del exceso de agua en México, contrariamente a países con mayor urbanización costera de baja altitud, se presenta sobre todo por exceso de precipitación en ciudades y desbordamiento de ríos y presas.

Tabla 17 | Categorías de tecnologías para la adaptación en zonas costeras

Evaluación de riesgos	Escasez de agua	Exceso de agua	Contaminación de agua
Evaluación de vulnerabilidad Predicción y proyección de riesgos	Eficiencia hídrica Almacenamiento de agua Fuentes de agua alternativas	Control de afluente en ríos y lagos Manejo de inundaciones urbanas	Limitar fugas de nutrientes Reducir fuentes de contaminación Proteger recursos hídricos de inundaciones Mejorar capacidad de tratamiento de agua

Fuente: (Bertule et al., 2017)

Reducción de fugas en tuberías



La ciudad de México importa la mayoría de su agua potable de 200 km de distancia elevandola cerca de 2 km. Esto implica un gigantesco costo económico y gasto energético agravado por el hecho que más del 40% de esa agua se pierde en fugas. Encontrar lugares más lejanos de donde traer agua conforme se reduzca la capacidad del sistema cutzamala y aumente la demanda en la ciudad tiene poco sentido. Reducir el porcentaje



de fugas es un paso lógico y necesario para mantener el suministro. Existen diferentes tecnologías que ayudan a encontrar fugas sin exponer toda la tubería como sistemas de ultrasonido, trazadores químicos, termografías, radar de penetración, micrófonos de suelo, adaptadores en juntas, etc. Para reparar las fugas se puede utilizar soldadura, reemplazo de piezas, polímeros, resinas epóxicas, etc. También existen métodos que permiten reparar las fugas y la rugosidad de tuberías sin necesidad de localizar las fugas ni exponer la tubería como la resina inerte *ecofix* que se inserta en tuberías y sella las fugas no mayores a 8 milímetros, creada por una startup mexicana ganadora del CleanTech Challenge (GreenMomentum, 2016).

Perspectivas de innovación tecnológica: nuevos métodos de reparación sin exposición, detección y reparación de fugas más barata

Captura de lluvia



En la ciudad de México el agua potable se importa desde lejos, los mantos acuíferos están altamente sobreexplotados y más de 400,000 personas no tienen conexión a la red (Torres, 2017). Por otro lado, el agua de lluvia se mezcla con las aguas negras para luego ser transportada lejos de la ciudad de modo que no es utilizada ni recarga los mantos locales. La recolección de agua pluvial es una solución sencilla y con mucho potencial de impacto. La empresa social mexicana Isla Urbana ha impactado a



más de 60,000 usuarios mejorando su calidad de vida a un bajo costo (Isla Urbana, 2011). Existen también métodos para recuperar el agua de lluvia en el campo dirigiendo el escurrimiento superficial y la filtración a contenedores para su uso en riego y ganadería.

Perspectivas de innovación tecnológica: sistemas de filtrado pasivos baratos y sencillos, almacenamiento seguro post-construcción de la vivienda

Pozos resilientes frente a inundaciones



En medios rurales y muchas ciudades, los pozos son una de las principales fuentes de agua potable. Los pozos pueden ser muy vulnerables a inundaciones ya que cantidades pequeñas de intrusión pueden contaminar la totalidad de la reserva poniendo en riesgo la salud de la población y requiriendo procesos de purificación posteriores. Su vulnerabilidad se debe a al ingreso o infiltración de agua, imposibilidad de acceder al pozo durante la inundación, colapso del pozo cuando se satura el suelo (WaterAid, 2019). Es necesario implementar técnicas y diseños que incrementen la resiliencia de los pozos existentes y los nuevos para disminuir la vulnerabilidad de una gran parte de la población.



Perspectivas de innovación tecnológica: diseños adaptados a las técnicas de construcción de pozos locales, nuevas NOM

Tratamiento y almacenamiento de agua doméstico o comunitario



En comunidades aisladas, con mal infraestructura o que están enfrentando un fenómeno hidrometeorológico extremo, puede ser necesario que cada casa potabilice y almacene su propia agua. Esta agua puede ser de fuentes externas como la lluvia o ríos cercanos, o también puede ser aguas grises tratadas del hogar. Los sistemas de filtrado pueden ser pasivos, como arenas finas, carbón activado entre otros, químicos como los floculantes, y los desinfectantes, activos como el ozono y la luz ultravioleta, y también de origen biológico como la ceniza de cáscaras de arroz.



Perspectivas de innovación tecnológica: integración con renovables, uso de materiales locales, evaluación de potabilidad sencilla y barata

Condensadores de humedad atmosférica



Existen zonas con poca disponibilidad de agua potable superficial pero mucha humedad atmosférica como algunos terrenos montañosos. Se tienen registros de poblaciones que recolectan el agua de la atmósfera desde hace cientos de años en países como Perú e Irlanda. Estos sistemas pueden ser muy sencillos como mallas de polietileno que atrapan y almacenan la neblina, o sistemas activos que consumen energía para generar agua potable en zonas con menor humedad atmosférica.



Perspectivas de innovación tecnológica: integración con solar o eólica para sistemas pasivos, reciclaje de materiales para cosecha de neblina

Infraestructura y asentamientos urbanos

Todos los asentamientos urbanos dependen completamente de diferentes tipos de infraestructura, como la energía, agua, transporte y desechos. En México, diferentes factores como la urbanización desorganizada, la corrupción y el crecimiento de la poblacional, generan presión sobre la infraestructura que se puede traducir en fallas con importantes implicaciones ambientales y sociales. Diferentes efectos del cambio climático aumentarán la presión sobre la infraestructura implicando fuertes riesgos futuros, como los picos de demanda eléctrica causados por el incremento de las olas de calor. Otros efectos, tienen implicaciones directas sobre la infraestructura, como las inundaciones que destruyen carreteras y puentes, o las tormentas que saturan los sistemas de drenaje. En México se espera un aumento de 47 millones de habitantes urbanos para el 2050, lo que representaría aproximadamente el 86% de la población frente al 72% de la relación de población urbana en el 2010 (Delgado, 2016).

Generalmente cada estado y municipio tiene normas para asegurar que la infraestructura privada y pública sea capaz de soportar las condiciones climáticas locales. Aunque en muchos casos las normas no están suficientemente bien hechas o adaptadas a la zona y no se cuenta con las herramientas para asegurar que se cumplan. Un ejemplo son las normas de eficiencia energética térmica en edificaciones que son iguales para toda la república, independientemente de si regulan los edificios en zonas de playa o montañosas (Huelsz, 2018). Es necesario implementar una serie de estrategias para que la infraestructura nacional pueda seguir operando frente a efectos del cambio climático y además es necesario la implementación de nueva infraestructura que permita a las poblaciones humanas y animales adaptarse.

Climatización eficiente y renovable



La temperatura en la ciudad de México ha aumentado cerca de 4°C en los últimos años, y se proyecta un incremento de 6.5°C para el 2030 (Delgado, 2016; Tejeda-Martínez, E, & Jáuregui, 2011). La climatización en edificios públicos y privados aumentará significativamente en México y el resto del planeta a la par que aumenta la temperatura global y el poder adquisitivo de los



países desarrollados y en desarrollo. A escala global se proyecta que para el 2050 podrían existir 5.6 mil millones de unidades de aire acondicionado instaladas produciendo 82% más GEI que actualmente (Agency & International Energy Agency, 2018). Por esta razón, el Dr. Seth Birol de Director de la Agencia Internacional de Energía (IEA por sus siglas en inglés) reconoce la innovación en tecnología para efficientar los sistemas de aire acondicionado como uno de los elementos críticos de la conversación sobre energía (IEA, 2018). Además de efficientar los sistemas

tradicionales, se están desarrollando innovaciones que podrían transformar cómo concebimos la refrigeración de edificios. Por ejemplo el Dr. Aaswath Raman y su equipo, desarrollaron un material que disminuye su temperatura bajo radiación solar directa aprovechando el frío del espacio exterior. El material tiene la capacidad de absorber y emitir radiación en bandas estrechas de longitud de onda. Esto le permite no absorber la radiación del sol pero emitir radiación solo en una longitud de onda que no es absorbida por la atmósfera, llamada ventana de transparencia atmosférica. Por lo tanto se presenta una transferencia de calor por radiación similar a la de un material en el espacio exterior. Actualmente, este material refleja hasta 97% de la radiación solar y se puede enfriar cerca de 5°C por debajo de la temperatura atmosférica bajo el sol (Raman, Anoma, Zhu, Rephaeli, & Fan, 2014). Se están explorando aplicaciones de este tipo de materiales para refrigerar edificios directamente o para eficientar sistemas de aire acondicionado.



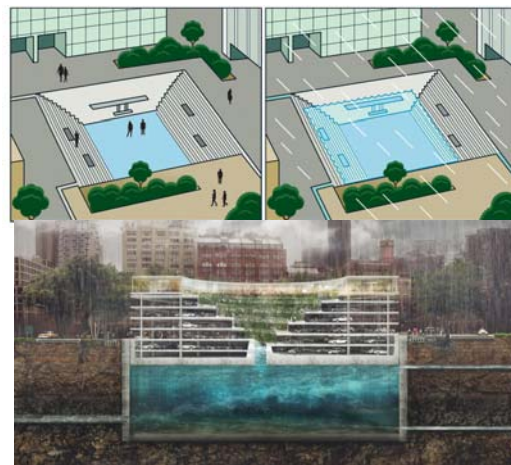
Para refrigerar o calentar grandes edificaciones y estaciones de metro, el Dr. Guillermo Narsilio, desarrolló una metodología integra tuberías con refrigerante dentro de muros, suelos y columnas. Esta tecnología tiene un bajo costo inicial y muy poco consumo energético, en especial cuando se integra con energía geotérmica (Narsilio, 5 de noviembre 2018).

Perspectivas de innovación tecnológica: Mayor integración con renovables

Reservorios de agua para tormentas



El desbordamiento de ríos y las tormentas, pueden hacer que una ciudad y su sistema de drenaje se inunden causando daños materiales y poniendo en peligro vidas humanas. Cuando no se puede evitar que el agua entre a la ciudad, es necesario infraestructura que direcciones y almacene el agua. En Holanda han construido parques enteros diseñados para atraer el agua e inundarse antes que otros puntos más vulnerables de la ciudad. También han construido estacionamientos, canchas



deportivas y otros edificios que se pueden convertir en grandes almacenes de agua. (Kimmelman & Haner, 2017).

Perspectivas de innovación tecnológica: materiales de construcción permeables, usos para el agua almacenada

Diques y puertas costeras



Son grandes estructuras fijas o móviles que regulan el paso del agua para proteger zonas de baja altitud de inundaciones y mareas altas. Pueden ser de tierra, cemento, rocas, acero o combinaciones. Su alto costo sólo se implica que se implementan principalmente para proteger ciudades importantes de baja altitud. Actualmente la obra más grande en el mundo de defensa contra inundaciones es la gran puerta del Mar del Norte que protege distintas ciudades holandesas.



Construcción a prueba de inundaciones y tormentas



Existen diferentes estrategias que se pueden implementar para asegurar que las edificaciones públicas y privadas sean capaces de resistir inundaciones y fuertes corrientes de agua. Algunas incluyen elevar las estructuras, construir con materiales resilientes e impermeables o asegurar que el agua no llegue a la estructura. Se pueden implementar en la construcción de nuevos edificios, pero también, en el caso de los recubrimientos impermeables y las barreras, se pueden implementar en edificios ya construidos. De este modo este tipo de tecnologías representa una opción más barata que relocalizar o permitir que se dañen las estructuras. Deben ir acompañadas de predicciones confiables sobre los posibles impactos y de planeación urbana que los considere.



Perspectivas de innovación tecnológica: reciclaje de materiales para construcción impermeable, diseños de bioconstrucción regional resiliente

Refugios y servicios de emergencia



Actualmente se calcula que hay 85,000 desplazados promedio al año en México por fenómenos hidrometeorológicos extremos (IDCM, 2019). Se proyecta que en el año 2050 podrían haber más de 1.5 millones de desplazados si se mantienen las direcciones actuales del CC (Rigaud, 2018). Una parte de esos desplazados serán producto de la disminución de oportunidades laborales y



de subsistencia a causa del CC, otra será por que distintos fenómenos climáticos destruyan casa o hagan zonas inhabitables. Se prevé que la mayoría se desplazarán de áreas vulnerables hacia espacios urbanos (Ídem). Esto tiene fuertes implicaciones para el diseño y la política urbana de las próximas décadas. En muchos de estos casos, antes de encontrar vivienda permanente, será necesario desplegar refugios de emergencia seguros, económicos, de manufactura en masa y de fácil instalación. Esto simboliza un reto ingenieril y arquitectónico importante con mucho potencial de impacto en vidas humanas. En la imagen se muestra un prototipo diseñado por estudiantes de la UNAM hecho con madera y PVC y fue implementado después del sismo del 2018 (Méndez, 2017)

Perspectivas de innovación tecnológica: estructuras recicladas, estructuras autoarmables o desplegadas

Salud y servicios básicos

Por impactos directos e indirectos del CC, la salud humana puede ser ampliamente afectada. Algunos riesgos directos son las ondas de calor o las inundaciones, mientras que de manera indirecta puede incrementar el riesgo por distintas enfermedades por crecimiento poblacional y aumento de rango de mosquitos que transmiten enfermedades, o enfermedades asociadas a la falta de agua potable, y malnutrición por disminución de cosechas (Adaptation, Technology and Science Programme, 2006). La infraestructura de salud vulnerable genera un efecto de retroalimentación negativo muy peligroso en caso de fenómenos climáticos extremos, lo que prioriza en gran medida su resiliencia. Según SEMARNAT, el 16% de los planteles médicos se encuentran en zonas de alto peligro y vulnerabilidad (SEMARNAT, 2014). En 2015, se reportaron 250 mil casos de dengue en el país (Gutiérrez, 2015), y 3200 casos de zika en 2018 de los cuales más de la mitad fueron mujeres (Gutiérrez, 2019). Los riesgos a la salud están altamente asociados al nivel socioeconómico, que a su vez está relacionado con la vulnerabilidad frente al CC. En efecto, Oaxaca, nuestro estado más vulnerable es también donde más niños de menos de 5 años mueren por malnutrición con 250 casos en 2013 (Secretaría de Salud Pública, 2015).

La mayoría de las problemáticas de salud en México están disminuyendo por el refuerzo del sistema y la cobertura de la salud pública, y el aumento de la cobertura de servicios básicos (Secretaría de Salud Pública, 2015), pero si bien esto representa un reto importante que cuesta vidas todos los días, el CC aumentará su complejidad y urgencia.

Para enfrentar los riesgos a la salud intensificados por el cambio climático, es necesario un refuerzo al sistema de salud pública y asegurar los servicios básicos a la población mediante la implementación de tecnología a través de programas públicos y privados.

Reducción de criaderos de mosquitos

El aumento de las temperaturas y de las inundaciones puede contribuir a la extensión acelerada de los mosquitos que transmiten enfermedades. Por ejemplo, en 2013 se registraron los primeros casos de dengue en Chihuahua, lo que se atribuye al aumento de temperaturas y humedad en la zona (National Geographic en español, 2018). Para enfrentar esta problemática, los municipios han recurrido a la fumigación en zonas habitadas y a la protección de reservas abiertas de agua para limitar la reproducción de los mosquitos. Uno de los focos de crianza de mosquitos importantes que se ha identificado son los tiraderos de



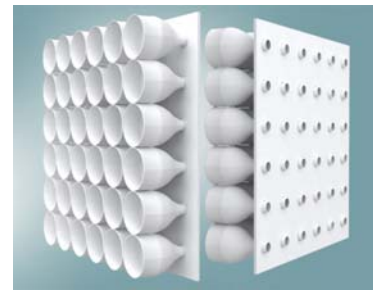
llantas que almacenan y calientan agua de lluvia. La empresa mexicana Tiresys, desarrolló una tecnología que permite trocear y reciclar llantas a un bajo costo y consumo energético permitiendo reducir los tiraderos de llantas que antes solo se almacenaban o quemaban provocando riesgos a la salud (*Revista Ciencia y Desarrollo, Productos de la ciencia*, 2014). Esta tecnología ha sido incorporada por distintos municipios.

Perspectivas de innovación tecnológica: nuevas metodologías para disminuir otros criaderos, repelentes urbanos

Refrigeración pasiva y construcción bioclimática



Se espera que toda la república se caliente por encima del calentamiento global promedio (Carlos Gay y García y José Clemente Rueda Abad, 2015). También se proyecta un aumento en la intensidad y frecuencia de ondas de calor (Íbid). Estos fenómenos representan un riesgo importante para la salud, que en muchos casos se enfrentará con un aumento de la climatización en los hogares. El aumento de los precios de los combustibles y la pobreza energética hacen que para disminuir la vulnerabilidad frente al aumento de temperatura de toda la población sean necesarias tecnologías de climatización baratas, accesibles y en muchos casos independientes de la red eléctrica.



Un ejemplo interesante son los eco-cooler inventados por un bangladesí y ganadores de distintos premios, que permiten refrigerar una casa solo con botellas recicladas aprovechando el fenómeno de tobera que acelera el aire aumentando la transferencia de calor (United Nations Peacekeeping, 2017). También hay un efecto de compresión y descompresión que puede contribuir a disminuir la temperatura del aire. Otros ejemplos destacables son las distintas estrategias de diseño bioclimático que aprovechan distintos fenómenos como los flujos de calor, los flujos de viento, la evaporación entre otros para proponer soluciones sencillas y baratas que controlan la temperatura en edificaciones con un consumo energético bajo o nulo (Huelsz & Huelsz, 2013).

Perspectivas de innovación tecnológica: disminuir costos de la refrigeración solar, nuevos sistemas accesibles de refrigeración pasiva, integración de refrigeración evaporativa con otros sistemas, como riego o bombeo, modelado de flujos de calor para evaluar y eficientar medidas de diseño bioclimático

Resumen

En el marco de la UNFCCC se reconoce el papel de las tecnologías para la adaptación en especial en países en desarrollo. Estas tecnologías integran la dimensión social, ambiental y económica de las soluciones sostenibles pero deben tomar en cuenta los efectos actuales y futuros del cambio climático para proponer medidas de adaptación efectivas con cobeneficios. Se dividieron las tecnologías en 5 sectores para facilitar el estudio pero la mayoría de ellas se puede atribuir a más de un sector por sus relaciones e interdependencias. En las zonas costeras, las tecnologías se dividieron entre las que permiten *proteger*, *relocalizar* o *adecuar* vivienda, infraestructura o hábitat. Los principales riesgos se encuentran en la zona del caribe y el golfo por su exposición a tormentas y huracanes, su densidad poblacional y turística y su biodiversidad. La seguridad alimentaria es uno de los retos más importantes en materia de adaptación para México. Para la producción alimentaria se presentaron una serie de estrategias basadas en la agroecología con recursos tecnológicos que tienen un gran potencial para mitigar, crear de empleos, reducir la migración interna, y reducir la desigualdad. Muchas de estas tecnologías se basan en un enfoque de adaptación basada en comunidades y en ecosistemas. Para asegurar la seguridad del agua, en especial con la proyección del aumento de las sequías, se requiere de la implementación de tecnologías para la extracción sostenible del recurso, eficiencia en la distribución y uso y incrementar la resiliencia de la infraestructura. La distribución desigual del agua se puede enfrentar con sistemas de captación, extracción y tratamiento de agua comunitarios o individuales. Las zonas urbanas expuestas a peligro de inundación se pueden asegurar por medio de estrategias de almacenamiento y direccionamiento de grandes cantidades de agua. Asegurar la resiliencia de los asentamientos urbanos y la infraestructura es un imperativo para reducir las pérdidas materiales e inmaterial ya que la gran mayoría de la población mexicana es urbana. La migración es una de las problemáticas sociales más importantes del cambio climático, en algunos casos se puede evitar mediante la implementación de estrategias de adaptación pero en algunos casos los desplazamientos son inevitables. Se plantearon distintas soluciones para acompañar la migración que disminuyan su riesgo para la población desplazada y la huésped. Los efectos del cambio climático representan riesgos para la salud como el clima extremo, la presión en los sistemas de salud y la difusión de enfermedades relacionadas con el clima o con vectores como mosquitos.

En todos los sectores, las energías renovables se plantean como una de las áreas de innovación potencial con implicaciones para la efectividad de la estrategia de adaptación. Se puede observar que en efecto las tecnologías para la adaptación se presentan en un espectro muy amplio con todos los niveles de desarrollo tecnológico, para todas las escalas, distintos requerimientos económicos y para acciones preventivas o reactivas.

Para todos los sectores, pudimos encontrar empresas mexicanas que están desarrollando e implementando tecnología en este sentido. Pero se requieren estrategias que permitan catalizar la creación de más tecnología y empresas que permitan la adaptación del país.

Bibliografía

- Adaptation, Technology and Science Programme. (2006). *Climate Change Adaptation Technologies*. Recuperado de UNFCCC Secretariat website:
https://unfccc.int/resource/docs/publications/tech_for_adaptation_06.pdf
- Agencia de Medio Ambiente de Singapur. (2017). Semakau Landfill Phase II. Recuperado el 28 de marzo de 2019, de
https://www.capam.org/knowledge/articles/2017/semakau_landfill_phase_ii.html
- Agency, I. E., & International Energy Agency. (2018). *The Future of Cooling*.
<https://doi.org/10.1787/9789264301993-en>
- Azuz-Adeath, I., & Rivera-Arriaga, E. (2009). Descripción de la dinámica poblacional en la zona costera mexicana durante el periodo 2000-2005. *Papeles de población*, 15(62), 75–107.
- Bertule, M., Appelquist, L. R., Spensley, J., Trærup, S. L. M., & Naswa, P. (2017). *Climate Change Adaptation Technologies for Water*. Recuperado de UN Environment website:
www.unclearn.org/sites/default/files/inventory/cc_adaptation_technologies_for_water_red.pdf
- Carlos Gay y García y José Clemente Rueda Abad. (2015). *Reporte Mexicano de Cambio Climático. Impactos, Vulnerabilidad y Adaptación. Grupo II*.
- Conagua. (2014). *Estadísticas del Agua en México* (Núm. CONAGUA). Recuperado de
<http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/EAM2014.pdf>
- Delgado, G. (2016). *Urban Adaptation and Mitigation Planning in México*. Presentado en Red Nacional del Cambio Climático - PINCC. Recuperado de
http://www.pincc.unam.mx/rednacionaldeccc/DOCU_CLIMARED/ciudades/Gian_Delgado.pdf
- de Salud Pública, S. (2015). *Informe sobre la salud de los mexicanos*. Recuperado de
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/64176/INFORME_LA_SALUD_DE_LOS_MEXICANOS_2015_S.pdf
- Furqan, R. (2010). *Biorock Technology*.
- Goreau, D. (2011). *Independent Study Project on Biorock* (A. Irwin). Recuperado de
http://www.globalcoral.org/_oldgcra/Independent%20Study%20Project%20on%20Biorock1.html
- GreenMomentum. (2016). *CleanTech Challenge México 7a edición*. Recuperado de
<http://cleantechchallenge.org/wp-content/uploads/2018/02/revista2016.pdf>
- Gutiérrez, L. A. (2015, marzo 11). PAHO/WHO Data - Dengue cases | PAHO/WHO. Recuperado el 23 de marzo de 2019, de Pan American Health Organization / World Health Organization website:
<http://www.paho.org/data/index.php/en/mnu-topics/indicadores-dengue-en/dengue-nacional-en/252-dengue-pais-ano-en.html>
- Gutiérrez, L. A. (2019, enero 17). PAHO/WHO Data - MEX Zika Report | PAHO/WHO. Recuperado el 23 de marzo de 2019, de Pan American Health Organization / World Health Organization
http://www.paho.org/data/index.php/en/?option=com_content&view=article&id=526:zika-mex-en&Itemid=352
- Hilbertz, W., & Goreau, T. (2007). Bottom-Up Community-Based Coral Reef and Fisheries Restoration in Indonesia, Panama, and Palau. *Handbook of Regenerative Landscape Design*, pp. 143–159. <https://doi.org/10.1201/9781420008739.ch7>
- Hinojosa, A., Appendini, C. M., de Lourdes Mexicano, D. M., & Padilla, R. M. (2014). *Estudio para la incorporación de nuevas variables en los escenarios de cambio climático para México utilizados en la Quinta Comunicación Nacional*. Recuperado de INECC website:
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/94684/CGACC_2014_Variables_escenarios_part2.pdf
- Huelsz, G. (2018). *Eficiencia Energética en Edificaciones*. Presentado en FI, UNAM.
- Huelsz, G., & Huelsz, J. A. S. (2013). Hacia edificaciones más sustentables. *Revista Digital Universitaria*, 14(9). <https://doi.org/ISSN 1607 - 6079>
- IDCM. (2019). México. Recuperado el 25 de marzo de 2019, de
<http://www.internal-displacement.org/countries/mexico>

- IEA. (2018). Air conditioning use emerges as one of the key drivers of global electricity-demand growth. Recuperado el 20 de mayo de 2019, de <https://www.iea.org/newsroom/news/2018/may/air-conditioning-use-emerges-as-one-of-the-key-drivers-of-global-electricity-dema.html>
- IPCC. (2018). *Global Warming of 1.5 °C*. Recuperado de <https://www.ipcc.ch/sr15/>
- Isla Urbana. (2011). *What is Isla Urbana*. Recuperado de <http://islaurbana.org/>
- Kimmelman, M., & Haner, J. (2017, junio 15). The Dutch Have Solutions to Rising Seas. The World Is Watching. *The New York Times*. Recuperado de <https://www.nytimes.com/interactive/2017/06/15/world/europe/climate-change-rotterdam.html>
- Macara, O., Aguillón, J., Arvizu, J. L., Islas, J., Manzini, F., Fuentes, A., & de Buen, O. (2006). *La bioenergía en México: Un catalizador del desarrollo Sostenible*.
- Méndez, F. (2017). Refugio temporal para afectados por fenómenos naturales. *gaceta Digital UNAM*. Recuperado de <http://www.gaceta.unam.mx/20171026/refugio-temporal-para-afectados-por-fenomenos-naturales/>
- Naciones Unidas. (2015, diciembre 14). Población. Recuperado el 20 de marzo de 2019, de <http://www.un.org/es/sections/issues-depth/population/index.html>
- Narsilio, G. A. (5 de noviembre 2018). *Energy Geo-structures in Transport Infrastructure: Are They Feasible?* Presentado en Instituto de Ingeniería. Recuperado de <https://youtu.be/o9jWPnL8o-k>
- National Environment Agency. (2019). Recuperado el 28 de marzo de 2019, de <https://www.nea.gov.sg>
- National Geographic en español. (2018, agosto 9). El cambio climático precipita el aumento del dengue - National Geographic en Español. Recuperado el 24 de marzo de 2019, de National Geographic en Español website: <https://www.ngenespanol.com/fotografia/cambio-climatico-precipita-aumento-del-dengue/>
- Olhoff, A. (2015). *Technologies for adaptation and their transfer, diffusion and uptake*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.24250.80320>
- Ortega, A. (1989). Basic Technology Mineral Accretion for Shelter. *MIMAR 32: Architecture in Development*, (32).
- Our Changing Climate. (2018). *How Cuban agriculture went from industrial to sustainable*. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=TZ0tovrhf5Y>
- Raman, A. P., Anoma, M. A., Zhu, L., Rephaeli, E., & Fan, S. (2014). Passive radiative cooling below ambient air temperature under direct sunlight. *Nature*, 515(7528), 540.
- Revista Ciencia y Desarrollo, Productos de la ciencia* (Vol. 249). (2014). Recuperado de www.cyd.conacyt.gob.mx/249/articulos/productos-de-la-ciencia.html
- Rigaud, K. K. (2018). *Groundswell: Preparing for Internal Climate Migration*.
- SEMARNAT. (2014). *Programa especial de Cambio Climático 2014 - 2018*. Recuperado de Gobierno de la República website: http://www.semarnat.gob.mx/sites/default/files/documentos/transparencia/programa_especial_de_cambio_climatico_2014-2018.pdf
- Technology Executive Committee - IPCC. (2018). *Potential of South-South and triangular cooperation on climate technologies*. Recuperado de United Nations website: http://unfccc.int/ttclear/misc_/StaticFiles/gnwoerk_static/brief9/7a74a2f17f204b6ba17f1ec965da70d7/f4e361cd56d4463a8daa4ab29a1254db.pdf
- TEC, & United Nations Office for South-South Cooperation. (2018). *South-South and triangular cooperation on climate technologies* (UNFCCC, Ed.). Recuperado de UNFCCC website: http://unfccc.int/ttclear/misc_/StaticFiles/gnwoerk_static/brief9/7a74a2f17f204b6ba17f1ec965da70d7/f4e361cd56d4463a8daa4ab29a1254db.pdf
- Tejeda-Martínez, A., E, L., & Jáuregui, E. (2011). Average conditions of thermal stress in Mexican cities with more than one million inhabitants in the face of climatic change. *Atmosfera*, 24(1). Recuperado de <http://dx.doi.org/>
- Torres, L. (2017). *Gestión del agua potable en la Ciudad de México*. Recuperado de

- <http://aldf.gob.mx/archivo-027a57875ea54db65fb86646226b9611.pdf>
- UNDP. (2015). A Cuban model for a resilient Caribbean. Recuperado el 17 de marzo de 2019, de <https://www.undp.org/content/undp/en/home/presscenter/articles/2015/02/25/a-cuban-model-for-a-resilient-caribbean.html>
- UNEP DTU, & TTClear. (2018). *Summary of Country Technology Needs Assessment*. Recuperado de UNFCCC Secretariat website: http://unfccc.int/ttclear/misc_/StaticFiles/gnwoerk_static/TNA_key_doc/137ce42be33c4341a9b9e6679f7f8539/4a057ad243164ac6bbaa62bcb96bc39a.pdf
- United Nations Peacekeeping. (2017). Indian peacekeepers turn plastic bottles into “eco coolers”. Recuperado el 24 de marzo de 2019, de <https://peacekeeping.un.org/en/indian-peacekeepers-turn-plastic-bottles-eco-coolers>
- Urquía-Fernández, N. (2014). La seguridad alimentaria en México. *Salud pública de México*, 56, s92–s98.
- WaterAid. (2019). *Beneath the Surface: The State of the World's Water 2019*. Recuperado de <https://washmatters.wateraid.org/publications>
- Zhu, X., Clements, R., & Haggard, J. (2011). *Technologies for climate change adaptation: agriculture sector*. Recuperado de <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=GB2013201759>
- Zhu, X., Linham, M. M., & Nicholls, R. J. (2010). *Technologies for climate change adaptation-Coastal erosion and flooding*. Danmarks Tekniske Universitet, Risø Nationallaboratoriet for Bæredygtig Energi.

Capítulo 4 | Innovación

“El árbol del saber, que iguala al hombre con d’os, es el árbol plantado por el hombre en medio de los árboles plantados por dios. El pecado original es la agricultura. En vez de atenerse a la providencia divina, el hombre siembra, y en el pecado lleva la penitencia: se condena a trabajar [...]”

Gabriel Zaid, Sobre la crítica al progreso y la innovación

La innovación tecnológica es el motor de la búsqueda humana de desarrollo. Le permitió a los seres humanos dejar la vida nómada y dejar de subsistir de lo que se encuentra en la naturaleza, y más adelante construir todo aquello que hoy nos parece indispensable y damos por sentado. Además del valor histórico y filosófico, que nos permite entender el estado actual de la humanidad, la innovación hoy en día se encuentra al centro de la mayoría de los modelos gubernamentales de desarrollo. Tal es el caso de México que reconoce la innovación como el primero de los tres pilares del Plan Económico Nacional 2018 (Forbes Staff, 2018). En efecto, existe una relación estrecha entre los niveles de innovación y los niveles de desarrollo económico de un país.

La innovación es también una poderosa herramienta que puede contribuir a enfrentar (aunque también en algunos casos crear) los retos más importantes. El cambio climático es uno de los retos donde la innovación jugará un papel fundamental en reducir su impacto sobre la tierra y sus habitantes.

En este capítulo buscaremos resumir las problemáticas principales de la innovación en México, para entender su estado actual y poder proponer algunas estrategias para transformarlo y sentaremos las bases para el desarrollo de la propuesta que se esboza en esta tesis. Empezaremos por buscar entender la situación actual de la innovación en México, los mecanismos institucionales y legislativos que la dirigen, rigen y apoyan; los diferentes actores involucrados; y su estado actual en comparación con otros países después de entender cómo se mide. Concluimos este capítulo revisando diferentes concepciones del concepto para poder realizar una definición de innovación en tecnologías para la adaptación que refleje el enfoque e intenciones de esta tesis.

Medir la innovación

Para implementar estrategias que fomenten y dirijan la innovación, es necesario entender los factores que influyen en este proceso. También es importante poder medir los resultados de dichas políticas para mejorar su desempeño. Por estas razones, es necesario tener la capacidad de medir y evaluar la innovación.

En general, medir la innovación se considera como una tarea demasiado compleja, por lo que la mayoría de las metodologías evalúan lo que es fácil de medir, como el número de patentes registradas o la inversión en I&D. Por supuesto, estas métricas son limitadas y no reflejan la complejidad real de la innovación, en especial en países en vías de desarrollo lo que puede llevar a políticas ineficientes (WIPO, 2016). “Hay una necesidad urgente de capturar cómo las ideas se desarrollan y cómo se convierten en las herramientas que transforman organizaciones, mercados locales, países y el tejido social” (OECD, 2018). Pocas instituciones y gobiernos emprenden proyectos grandes para medir innovación en el sentido amplio. Desde la publicación del Manual de Frascati de la OCDE en 1963, la I&D centrada en las empresas manufactureras de alta tecnología se popularizó como el enfoque principal del fomento y medición de la innovación (de Mendoza, 2016).

En un esfuerzo por generar una guía para medir la innovación más inclusiva, la OCDE empezó la publicación del Manual de Oslo en 1991 que se utiliza en más de 90 países. En este documento, se distingue la innovación y su medición en diferentes escalas, desde la empresa, hasta a nivel país. En cada edición del Manual se integran más actores y factores para lograr una medición más holística y enriquecida y sobre todo más relevante para todas las economías. Basándose en el Manual, la World Intellectual Property Organization (WIPO) publica anualmente un Índice Global de Innovación (GII por sus siglas en Inglés) que representa actualmente la métrica de la innovación de los países más reconocida y utilizada.

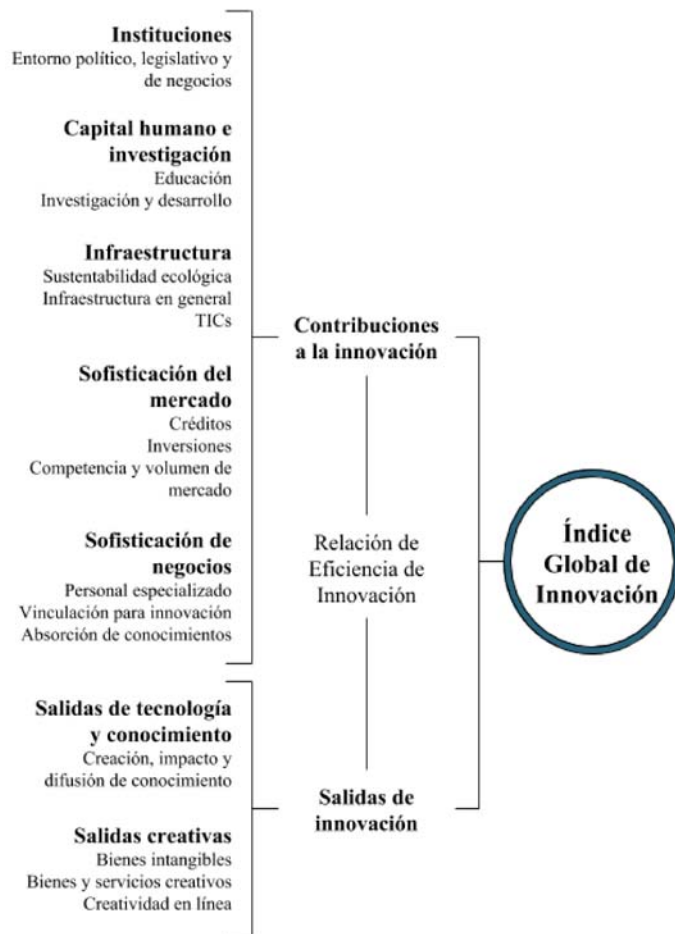


Figura 14 | Desglose del Índice Global de Innovación
Fuente: globalinnovationindex.org

A continuación se describe con detalle la metodología del WIPO por ser la herramienta más pertinente que nos permitirá más adelante realizar un estudio sobre la innovación de México frente al mundo.

Metodología WIPO

Conscientes de la importancia de una definición más amplia de la innovación y de la relevancia que ha tomado como parte de las políticas públicas tanto para países desarrollados como en vías de desarrollo, el WIPO desarrolló el Índice Global de Innovación (GII). Este proyecto representa el esfuerzo más extenso que busca medir la innovación en un sentido amplio de los países para permitir la comparación entre naciones y apoyar en la elaboración de políticas públicas. En su edición del 2018, evaluó 80 indicadores de 126 países para generar un valor final del GII, mediante un promedio ponderado. Se basa en dos categorías: factores, principalmente económicos, que permiten, afectan o pueden explicar la innovación llamado Contribuciones a la Innovación (Innovation Inputs), y los elementos medibles que pueden representar una evidencia de la generación de innovación llamada Salidas de Innovación (Innovation Outputs). La relación entre estos dos valores es la Eficiencia de Innovación de cada país que representa la proporción con la cual los factores que permiten la innovación son aprovechados y se traducen en innovación. Cada categoría contiene pilares a su vez divididos en sub pilares representados en la Figura 14. El GII evalúa desde los indicadores más convencionales, como el número de patentes y la inversión en I&D hasta algunos más originales como el número de contribuciones a wikipedia.

Marco Normativo, Institucional y Actores de la Innovación

El principal documento legislativo relativo a la innovación vigente es la Ley General de Ciencia y tecnología. De esta ley se derogan diversos organismos e instrumentos que tienen el objetivo de fomentar y dirigir la innovación, la ciencia y el desarrollo tecnológico. Además de los mecanismos gubernamentales, diferentes actores dentro de la academia, la sociedad, el sector privado y la comunidad internacional juegan papeles fundamentales en la innovación Mexicana. A continuación se describen estos mecanismos e instrumentos que apoyan y rigen la innovación y el papel de los diferentes actores junto con algunos indicadores de su estado actual y los retos que enfrentan.

Ley General de Ciencia y Tecnología (LGCT)

Propuesta y aprobada durante la gestión de Vicente Fox, busca consolidar un mecanismo gubernamental que fomente el desarrollo de ciencia, tecnología e innovación para impulsar el desarrollo del país. Esta Ley crea y atribuye facultades a los distintos organismos detallados a continuación. También decreta en su artículo 9 BIS que el gasto público destinado a las actividades de investigación científica, desarrollo tecnológico e innovación no puede ser inferior al 1% del PIB (decreto que no se ha cumplido en los 16 años desde su publicación).

Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología

El CONACyT es la principal institución pública descentralizada dedicada a apoyar, fomentar y dirigir el desarrollo tecnológico y la innovación. Se fundó como mandato de una ley bajo el presidente Luis Echeverría en 1970. Tiene atribuidas funciones de asesoría al gobierno en la materia, administrar y asignar fondos de apoyo, contribuir con la formación de capital humano, y fomentar el desarrollo y difusión de ciencia tecnología e innovación en las áreas que el país necesite entre otras. Con la LGCT se refuerzan sus capacidades como principal institución para cumplir con los objetivos nacionales en la materia. Una de sus herramientas más importantes en materia de innovación son los fondos de apoyo que se dividen en apoyos empresariales y en académicos o sociales. En ambos casos se pueden atribuir para todas las etapas del proceso de innovación, desde la formación y profesionalización de personal hasta el desarrollo y distribución de producto. Para las empresas, mediante el Programa de apoyo a la Innovación, el CONACyT apoyó en 2016 a 813 empresas de distintos tamaños con más de 4 mil millones de pesos. Como parte de los lineamientos para atribuir esos apoyos, las empresas mismas contribuyeron con la misma cantidad de dinero para fomentar sus actividades de innovación. CONACyT apoya a la academia y la sociedad en innovación mediante becas de estudio e investigación y apoyo para proyectos en concreto o la compra de material.

Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación

La LGCC prevé la creación de este sistema que integra todas las instituciones, materiales jurídicos, actividades, funciones, instrumentos, dependencias de la administración pública y cualquier otro elemento público asociado a las actividades de

CTI. Es coordinado por CONACyT con la principal función de articular a todos los actores CTI para contribuir a cumplir con los objetivos de la LGCT. A continuación se describen las instituciones e instrumentos que lo integran y se crearon a partir de la LGCT.

Programa Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación

Su realización está a cargo de CONACyT apoyándose en las entidades de la Administración Pública relacionadas y actores sociales relacionados. La LGCT establece que se debe actualizar cada tres años, al inicio de cada legislatura, y debe dirigir las políticas a corto y mediano plazo (25 años) en la materia para que se cumplan los objetivos establecidos en la Ley. En cada Programa se deben establecer metas y mecanismos concretos para llevar a cabo esas metas, los temas prioritarios, así como los presupuestos y asignaciones puntuales para esa legislatura. A marzo del 2019, no se ha publicado una actualización al Programa del 2014. El único tema relativo a la CTI que se trata de manera prioritaria e individual es la bioseguridad con enfoque al desarrollo de biotecnología para seguridad alimentaria en particular en maíz transgénico.

Consejo General de Investigación Científica, Desarrollo Tecnológico e Innovación

Integrado por el presidente, los titulares de 9 secretarías ²¹, el director de CONACyT, del Foro Consultivo Científico y Tecnológico, la Academia Mexicana de las Ciencias, y representantes de la Conferencia nacional de Ciencia y Tecnología, el sector productivo, los centros públicos de investigación y de la Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de Educación Superior además de dos miembros más con plenas facultades seleccionados por el presidente. Este organismo tiene la función principal de diseñar, aprobar, actualizar y evaluar el Programa Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación y otras políticas relacionadas, además de distintas funciones asociadas al gasto público en la materia.

Foro Consultivo Científico y Tecnológico

Es el órgano autónomo y permanente de consulta a todas las instancias públicas con responsabilidades en la materia. Es el vínculo directo entre gobierno y los actores civiles de la CTI. Entre sus funciones destacan proponer áreas y acciones prioritarias para el país, evaluar el PECiTI, asegurar la participación civil entre otras. Es el principal centro de investigación público relativo al fomento de las CTI. Actualmente es dirigido por la Doctora Julia Tagüeña. El Foro publica anualmente el Catálogo de Programas para el Fomento a la Innovación

²¹ Relaciones Exteriores, de Hacienda y Crédito Público, de Medio Ambiente y Recursos Naturales, de Energía, de Economía, de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, de Comunicaciones y Transportes, de Educación Pública, y de Salud.

Conferencia Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación

Instancia permanente de coordinación institucional entre el CONACyT y las dependencias o entidades de los gobiernos de las entidades federativas competentes en materia. Sus funciones de apoyo y asesoría a políticas federales y estatales, se basa en la búsqueda de apoyar la descentralización territorial e institucional de los instrumentos de apoyo.

Comité Intersecretarial para la Innovación

Presidido por el Secretario de Economía e integrado por titular de CONACyT, la Secretaría de Educación Pública, representantes del Foro Consultivo y la Red Nacional de Grupos, y Centros de Investigación. Es el principal órgano que administra y promueve las componentes de innovación en la LGCT y el responsable de formular y ejecutar el Programa de Innovación así como apoyar con la asignación de los fondos específicos para innovación que en 2012, representaron el 2% del gasto total federal en CTI incluyendo la educación de posgrado (CONACyT, 2014).

Centros Públicos de Investigación

Son entidades paraestatales con el objetivo principal de realizar actividades de investigación científica y tecnológica. Actualmente existen 26 Centros con más de 2300 investigadores y representan un sistema nacional autónomo y articulado enfocado a temas prioritarios. Son constituidos mediante un fideicomiso financiado por un fondo específico de CONACyT.

Repositorio Nacional CTI

Es una plataforma digital que proporciona acceso abierto a diversos recursos de información académica, científica y tecnológica, es decir, sin requerimientos de suscripción, registro o pago. En el Repositorio pueden ser consultados, entre otros materiales: artículos de revistas científicas, tesis elaboradas en instituciones de educación superior, protocolos de investigación, memorias de congresos y patentes, así como otros documentos académicos que se producen en México con fondos públicos (CONACyT, 2016).

Fondos

Los principales instrumentos de apoyo para la CTI, son los fondos y existen de dos tipos principales. Los Fondos CONACyT que están a cargo del Consejo y pueden ser institucionales, sectoriales, de cooperación internacional y mixtos. Por su parte, los Fondos de Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico que están a cargo de los Centros Públicos de Investigación y son solo asignables a empresas y grupos de investigación inscritos en el Registro Nacional de Instituciones y Empresas Científicas y Tecnológicas. La LGCT también prevé la instrumentación de distintos estímulos fiscales que favorezcan la inversión privada en actividades CTI. Finalmente

se crearon distintas redes que tienen la función de coordinar y permitir la cooperación entre las instituciones involucradas en actividades de la materia como la Red Nacional de Grupos y Centros de Investigación.

Laboratorios Nacionales

Iniciativa lanzada en 2006 que consolida unidades de investigación de calidad especializada para el desarrollo científico y la innovación en temas fundamentales como Laboratorios Nacionales. De este modo se convierten en beneficiarios de apoyos económicos de fondos específicos y forman parte de una red de colaboración. Estos laboratorios cumplen con tres principales funciones: la investigación, la formación de recursos humanos y la prestación de servicios. Actualmente existen 77 laboratorios Nacionales que son parte de distintas universidades, Centros Públicos de Investigación y órganos descentralizados del gobierno.

Academia

En México existen 95 universidades públicas estatales con infraestructura científica y tecnológica. Principalmente la UNAM con 71 entidades de investigación, 19 del IPN y 8 del CINVESTAV (CONACyT, 2014). Además de las universidades, existen otros organismos donde se genera conocimiento por investigadores académicos. “En 2012, México contaba con un total de 46,066 investigadores, de los cuales 32.3% laboraba en empresas, 20.6% en el gobierno, 44.4% en las instituciones de educación superior, y el restante 2.7% en instituciones privadas sin fines de lucro. “ (de la Nación, 2014). Uno de los indicadores que revela información sobre el estado de la investigación en un país es la proporción de investigadores respecto a la Población Económicamente Activa (PEA), para el caso de México en 2013 fue de 0.9, cifra que está muy por debajo de las de países avanzados como se observa en la Tabla 18. Uno de los principales mecanismos para enfrentar esta problemática es el Sistema Nacional de Investigadores (SNI) que mediante programas de becas y apoyo a la investigación, incentiva la incorporación de personal a actividades de investigación académica. Actualmente, el SNI cuenta con más de 19000 integrantes.

Además de la falta de capital humano en la academia, se reconoce un reto importante en la falta de vinculación con industria y la falta de creación de empresas por investigadores que rezaga la innovación. Una de las estrategias para enfrentar esta problemática son los parques científicos y tecnológicos actualmente existen 26, pero también se identifican los clusters y tecnopolos.

Tabla 18 | Investigadores por cada 1,000 integrantes de la PEA por país

Alemania	7.9
Canadá	8
Corea	11.5
China	1.7
E.U.A	9.1
España	5.6
Francia	8.5
Italia	4.3
Japón	10
Argentina	2.5
Turquía	2.5
México	0.9

Fuente: INEGI-CONACYT, Encuesta sobre Investigación y Desarrollo Tecnológico. OECD, Main Science and Technology Indicators, 2013/1.

Sector privado

Como se mencionó anteriormente “la capacidad innovadora del sector privado depende tanto de su intensidad para gestar actividades y proyectos de I&D, como de la efectividad para vincularse con el sector académico” (Gobierno de la República, 2014). En ambos elementos, el gobierno busca intervenir para aumentar la capacidad innovadora del sector privado con mecanismos que ya se mencionaron. Aunque la participación pública juega un papel fundamental a distintos niveles en la innovación del sector privado, la mayoría de la inversión en proyectos de innovación proviene de recursos propios a la empresa como se expone en la Tabla 19. Esto revela la importancia de un mercado que valore los productos de la innovación, además de la importancia de un ecosistema de apoyos que fomente las actividades de innovación en las empresas.

Tabla 19 | Número de empresas del sector productivo que utilizaron mecanismos de financiamiento para realizar actividades de innovación 2013

	Propios	Empresas subsidiarias o asociadas	Otras empresas	Créditos de instituciones bancarias privadas	Gubernamentales	Organismos internacionales
Total	1 421	76	31	263	402	12

Fuente: Encuesta Sobre Investigación y Desarrollo Tecnológico (ESIDET) 2014

Actores Internacionales

En los tres sectores (público, académico y privado) existen actores internacionales que intervienen en la innovación de México. En la academia, es muy común que se construyan proyectos de investigación conjunta. En el sector privado, la mayoría de las empresas con actividades importantes de innovación son empresas extranjeras, como se detalla en la sección de la innovación de México frente al mundo. Y a nivel gobierno, existen numerosos programas de cooperación a través de las agencias de cooperación o convenios directos entre gobiernos. En el PECiTI se identificó y seleccionó a las regiones y países que presentan oportunidades de cooperación internacional en CTI para México. Los países que se consideraron como estratégicos son Estados Unidos y Canadá, en América del Norte; Argentina, Brasil, Chile y Colombia, en América del Sur; Alemania, España, Francia y el Reino Unido, en Europa; y China, Corea del Sur, India, Israel y Japón, en Asia.

Innovación de México frente al mundo

Mediante los datos publicados por el GII de WIPO en 2018 y otros datos de WIPO entre otras fuentes, realizamos un estudio para entender la innovación de México comparada con el resto del mundo y algunos grupos de países relevantes. Como en el análisis de vulnerabilidad, se realizó la comparación con los países de América Latina y con los países miembro de la OCDE. En este caso no se excluyeron del estudio los datos de ningún país ya que la metodología del WIPO reconoce la innovación de países menos desarrollados, no solo la innovación de punta que únicamente los países más desarrollados pueden llevar a cabo. Por lo tanto, es pertinente comparar la innovación de México con la de todos los países, independientemente de su nivel de desarrollo u otras condiciones, en especial lo relacionado a la innovación social.

Como se observa en la Ficha resumen n, México es el país número 56 del mundo y el número 3 de América Latina en innovación según el GII. Todas las calificaciones de las componentes de la innovación, se encuentran muy cercanas a la media global, lo que sitúa a México a grandes rasgos en condiciones de innovación promedio. Encabeza la mayoría de los rankings de América Latina pero se encuentra en los lugares más bajos de la OCDE para todas las componentes.

Aunque los valores de las componentes son promedio, en un análisis más detallado encontramos que en cada una encontramos mucha variabilidad con calificaciones muy altas y muy bajas, más que una mayoría de calificaciones promedio. Un ejemplo claro es que dentro de la componente de Sofisticación de mercado México ocupa el lugar número 6 en la facilidad de obtener crédito pero el número 102 en el volumen de inversión realizado en el país. Otra contradicción muy reveladora es que México se encuentra entre los 20 países con mayor proporción de graduados en ciencia y tecnología pero en el número 86 de publicaciones científicas y técnicas por investigador (WIPO, 2019). En materia de alta tecnología México se posiciona como una de los mayores exportadores pero también importadores, lo que señala que si bien se produce tecnología en el país, la innovación tecnológica no es generada internamente. Esta constatación se refuerza por la baja proporción de inversión en I&D pero sobre todo por la relación de las patentes registradas en México por empresas o individuos respecto a las registradas por empresas extranjeras en el país con el fin de vender y proteger sus productos para su exportación o consumo interno. Si bien México es exportador de tecnología, es importador de soluciones tecnológicas. Además, se constata que no solo hay una falta de algunas condiciones necesarias para producir innovación, como la inversión pública en I&D cuya proporción del PIB se encuentra entre las más bajas a nivel mundial (UNESCO, 2019), sino también de las condiciones para que la innovación nacional se utilice y genere retorno económico. Esto se justifica con el lugar número 91 que México ocupa en relación a los pagos por el uso de las patentes registradas en México. La mayoría de las patentes registradas desde México son con jurisdicción únicamente nacional: 270 de las 2522 patentes registradas por residentes de México se hicieron a través del sistema de WIPO PCT que registra y protege simultáneamente en un gran número de países. La UNAM encabeza esta lista con 10 patentes PCT en 2017. La lista de los 10 registrantes con más patentes PCT está integrada por 2 universidades, 4 empresas

nacionales, 2 empresas extranjeras y 2 asociaciones civiles de investigación y desarrollo (WIPO, 2018). Aunque la métrica de las patentes para medir innovación es muy criticable, también se reconoce como un indicador con una relación positiva con la innovación. Es decir mientras más innovación produzca un país, generalmente va a producir más patentes aún cuando no toda la innovación se patenta, lo que nos permite decir que es probable que un país con niveles altos de patentes, también debe tener niveles altos de innovación. Esto es especialmente cierto en países desarrollados que generalmente cuentan con la infraestructura para patentar su innovación (Nagaoka, Motohashi, & Goto, 2010). Es por esto que el hecho de que México se posiciona en el lugar número 80 en cantidad de patentes registradas por residentes mexicanos por millón de GDP (PPA) mientras que es la economía número 11²², es muy alarmante y revelador del estado de la innovación en México.

El indicador con mejor calificación relativa es el de exportaciones de bienes creativos con el segundo lugar a nivel mundial. Este indicador representa la búsqueda de GII de incluir la producción y el valor de la producción de bienes que normalmente no se consideran como un indicador de la cantidad y calidad de la innovación de un país. En este caso, representa la exportación de bienes culturales como cine, multimedia, radio, televisión, libros entre otros. Si bien en este caso esta calificación no se relaciona directamente con tecnología, sí expone una amplia capacidad creativa y productiva de los mexicanos y una valorización internacional de la cultura mexicana.

²² Según datos del Fondo Monetario Internacional, México es la economía número 11 con el Producto Interno Bruto con Paridad de Poder Adquisitivo (PIB PPA) más grande. Este valor se considera una de las medidas más adecuadas para medir el tamaño de una economía puesto que contrariamente al PIB *per cápita*, referencia el valor del dinero a lo que puede comprar en el mismo país y no a una medida absoluta como los dólares estadounidenses. (Fondo Monetario Internacional, 2015)

Ficha 5 | Innovación Mexicana frente al Mundo

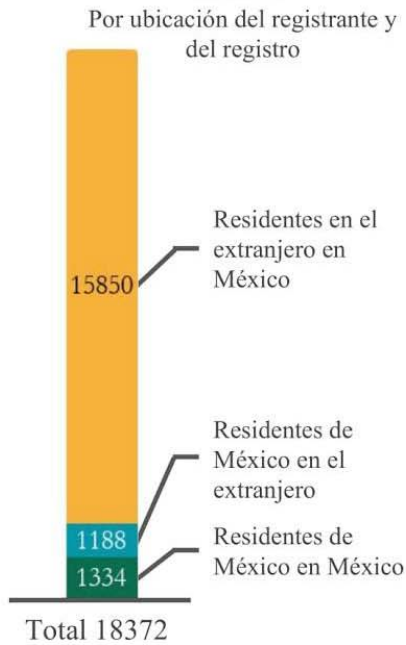
Índice global de innovación¹

Mundo	América Latina
53° Mongolia	1° Chile
54° Costa Rica	2° Costa Rica
55° Serbia	3° México
56° México	4° Uruguay
57° India	5° Colombia
58° Sudáfrica	6° Brazil
59° Georgia	

Indicadores relevantes entre los rankings más altos y más bajos¹

2° Exportación de bienes creativos	102° Inversiones
6° Facilidad para obtener créditos	99° Estabilidad política y violencia
6° Importaciones de alta tecnología	95° Inversión en I&D privada
7° Exportaciones de alta tecnología	91° Pagos de propiedad intelectual
19° Graduados en ciencia y tecnología	86° Publicaciones científicas y técnicas

Patentes de México en 2017²



Top 10 registrantes PCT*

1° UNAM, 4 empresas mexicanas, 2 A.C.s de I&D, 2 empresas extranjeras, El TEC,

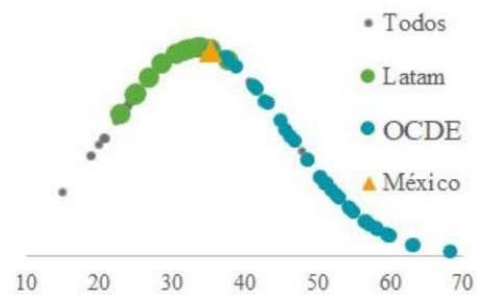
Inversión pública en I&D como porcentaje del PIB³ 0.5%

Al igual que Tanzania y Botswana

Ranking por componente del GII¹



Índice global de Innovación¹



¹ Economy Reports & Analysis | Global Innovation Index. <https://www.globalinnovationindex.org/analysis-economy>

² http://www.uis.unesco.org/_LAYOUTS/UNESCO/research-and-development-spending/index-en.html

³ Statistical Country Profiles. https://www.wipo.int/ipstats/en/statistics/country_profile/profile.jsp?code=MX

* Registro de patentes desde México en un gran número de países al mismo tiempo por medio de WIPO

Definir para entender y transformar

El concepto de innovación, tanto como una actividad como el producto de una actividad, se define de maneras diferentes dependiendo del área de conocimiento que la estudia (desde la filosofía e historia de la ciencia hasta el derecho industrial); el tipo de institución (gobiernos, organismos internacionales, universidades y empresas privadas); la época y el lugar (era pre o post industrial, antes o después de la democratización del acceso a la información con el internet; en países desarrollados o en vías de desarrollo), etc. Aunque la mayoría coinciden en definir la innovación como la producción de un bien material o inmaterial *novedoso* para una función específica y *relevante*, la mayor parte de la polémica se sitúa en las palabras *novedoso* y *relevante*. Las diferencias residen esencialmente en que acompañada a cada definición existe una función para definir.

En el lenguaje jurídico, por su naturaleza, se ofrecen las definiciones con menos ambigüedades. En este caso se define el concepto buscando permitir la protección de la propiedad intelectual e industrial. Lo que el derecho mexicano reconoce como *relevante* se puede deducir del artículo 2 de la Ley de Propiedad Industrial donde se “considera invención toda creación humana que permita transformar la materia o la energía que existe en la naturaleza, para su aprovechamiento por el hombre y satisfacer sus necesidades concretas” (Ley de la Propiedad Industrial, 1991). Más adelante, esta ley completa el concepto de innovación con toda invención que sea nueva y con aplicación industrial, definiendo *novedoso* como “todo aquello que no se encuentre en el estado de la técnica”, es decir, “el conjunto de conocimientos técnicos que se han hecho públicos mediante una descripción oral o escrita, por la explotación o por cualquier otro medio de difusión o información, en el país o en el extranjero” (Íbid).

En las empresas y gobiernos el interés reside principalmente en entender cómo catalizar y eficientar la innovación. En la mayoría de las definiciones emitidas por este tipo de organismos el potencial económico de la innovación se sitúa en el centro del concepto: “Las premisas de la Estrategia de Innovación son: 1.- La innovación es una prioridad nacional, pues sólo a través de ella podremos incrementar la competitividad de nuestra economía” (Secretaría de Economía, 2006). Por lo tanto, se entiende que para este tipo de organismos el concepto de *relevante* se traduce principalmente en que aumenta “los beneficios, la productividad, la cuota de mercado o la capitalización en bolsa” (Echeverría, 2008). El concepto de *novedoso*, en este caso, es especialmente complejo porque de su definición pueden depender bienes, por lo que generalmente comparte la definición jurídica que permite proteger las innovaciones; esto convierte en innovación a todo aquello que se puede proteger mediante patentes o regímenes de protección industrial.

La conversación sobre la innovación a nivel nación generalmente se centra, y en muchos casos se reduce, a innovación tecnológica basada en I&D generada en “la frontera global del conocimiento” por “fuerza de trabajo especializada” (WIPO, 2016). Esta visión implica “la existencia de países líderes y rezagados, donde los países con ingresos medios y bajos se encontraban solo intentando ponerse al corriente” (Íbid idem). Por otro lado, existen esfuerzos para definir más ampliamente innovación con la finalidad de permitir entendimientos más profundos que apoyen en la realización de políticas para dirigir y

potenciar la innovación, en particular en países de medianos y bajos ingresos que mucho tiempo fueron considerados al margen de este proceso. El Manual de Oslo de la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE) y el Índice Global de Innovación son dos ejemplos importantes de estos esfuerzos que serán tratados más a profundidad en la sección sobre la medición de la innovación. En ellos se define el concepto de *novedad* como aquello que “difiere significativamente de los productos anteriores, materiales o inmateriales, de la misma unidad [empresa, universidad o país]”, rechazando la idea de la novedad lineal y absoluta solo alcanzable para grandes empresas con muchos recursos destinados a producir saltos radicales en lo posible para el ser humano (OECD, 2018). En este sentido Quintanilla distingue las innovaciones universales de las locales, como aquellas nuevas para toda la humanidad o solo para el organismo o región que la lleva a cabo.

En una entrevista que realicé en InnovaUNAM, me comentaron que “innovar no es función de la universidad” (Mtro. Cosbert, 2018). Esta concepción es común, y tiene sentido cuando se concibe el hecho de hacer llegar la nueva tecnología al consumidor como un requisito indispensable para innovar, lo cual generalmente solo lo hacen las empresas. En efecto, en México históricamente la academia se ha dedicado a la investigación básica, mientras que la industria es la que se encarga de innovar con poca o nula interacción entre ambas (Cedano, del Río, & Martínez, 2009). Aun si la función principal de la academia es crear y difundir conocimiento, eso no quiere decir que se encuentra o se debe encontrar al margen de los procesos innovativos. Mientras que en efecto la Universidad raramente es quien vende productos a la sociedad, sí participa en muchas de las etapas previas, como la investigación y desarrollo, asesoría técnica, desarrollo de patentes y la creación de empresas por académicos o estudiantes basadas en los conocimientos generados en la universidad conocidas como spin-offs. En efecto, el papel de la academia en la innovación es fundamental.

Cuando la academia gesta innovación, generalmente se traduce en una patente y/o publicaciones científicas. Por lo tanto dependiendo si es patente o revista nacional o internacional se realiza un estudio que compara el trabajo con todos los conocidos a la misma escala, asociando el concepto de *novedoso* con la frontera global, regional o nacional del conocimiento. La *relevancia* la dicta también el mecanismo que publica o registra la innovación donde a juicio de sus expertos determinan si merece ser publicada en esa revista o si tiene una aplicación industrial en el caso de las patentes. Es importante notar que el volumen de patentes es mínimo comparado al volumen de publicaciones científicas que se producen en la academia y mientras que todas las patentes se generan con la intención de producir innovación, no todas las publicaciones tienen el mismo fin. Cuando una publicación se convierte en innovación, es generalmente porque otro grupo académico, o en otro sector encuentran en ésta las bases para generar o mejorar un producto, servicio o modelo organizativo. Esta es la desconexión que mencionan Cedano et al. donde, si no hay un vínculo directo con el sector privado, la academia solo se concentra en lograr publicaciones científicas con menos preocupación por producir innovación que impacte la sociedad. Mientras que en el sector privado y gubernamental, cuando se habla de ciencia y tecnología se busca que tenga un valor comercial o social y por lo tanto una aplicación concreta, en la

academia el valor científico o técnico en sí puede ser suficiente para dirigir la producción científica o técnica.

Es evidente que no existe una definición absoluta de innovación pero es necesario generar una que se adapte a las necesidades y la visión que busco presentar en esta tesis. Lo primero a considerar es el contexto de este estudio, que en este caso es México en la necesidad de enfrentar las consecuencias del cambio climático, tanto en planificación y acciones preventivas como reactivas a fenómenos asociados con el CC. Esto acota nuestra definición a una época que empieza con la adopción legal de la ciencia del CC y el imperativo de la acción climática en México con la ratificación del CMNUCC en 1994, con especial interés en las acciones actuales y a corto plazo con pretensión preventiva. Basándonos en la definición del Dr. Rantil, director del Comité Ejecutivo de Tecnología (TEC) del UNFCCC:

[en el TEC definimos innovación tecnológica como el] *proceso mediante el cual investigamos, desarrollamos, demostramos, implementamos y difundimos ampliamente tecnologías climáticas. (Rantil, Publicado el 9 ago. 2017)*

Usaremos la definición siguiente de innovación en tecnologías para la adaptación al cambio climático:

Proceso de desarrollar, retomar, difundir o implementar una técnica o un bien que previamente no se usaba o necesitaba en el lugar o aplicación específicos, con la finalidad de proteger el medio natural y los recursos materiales o inmateriales y mantener o incrementar el bienestar de una población frente a estímulos ambientales, biológicos o sociales generados o potenciados por el cambio climático.

En este estudio la innovación retoma y reconoce la mayoría de los elementos que constituyen la concepción generalizada en los ámbitos estudiados²³, pero no se reduce a ellos. Más que invalidar preconcepciones, busca integrar y validar nuevas para robustecer el concepto permitiendo la inclusión de actores y producciones tecnológicas que generalmente se consideraban al margen del proceso de innovación.

El primer y más importante cambio conceptual propuesto reside en el objetivo de innovar. Aunque se reconoce y valora el potencial económico de desarrollar y optimizar nuevas tecnologías para la adaptación al cambio climático tanto para su consumo interno como su exportación, en la labor de la innovación en adaptación se deben tener en cuenta más factores que su capacidad de crear valor económico. Además de por la contradicción moral de tener como objetivo principal lucrar con catástrofes, el cambio conceptual se justifica, en parte, porque en la construcción de resiliencia y capacidad de adaptación, un gran porcentaje de los casos tienen el objetivo de evitar pérdidas materiales e inmateriales, más que generar beneficio económico. Por ejemplo, construir barreras oceánicas para impedir inundaciones en ciudades y disminuir las pérdidas materiales e inmateriales. Este elemento es especialmente importante para México ya que entre 1998 y 2017 fue el octavo país que sufrió más pérdidas económicas asociadas a eventos climáticos extremos con un promedio anual de casi 3,000

²³ El ámbito jurídico, académico, empresarial, y gubernamental.

millones de dólares (Eckstein, Hutfils, & Wings, 2019). Esta concepción no es nueva, en la edición de 2018 del Manual de Oslo, se incluye la conservación de capital como uno de los objetivos de la innovación (no sólo su creación). Además, el mismo documento, menciona la existencia e importancia de innovaciones no enteramente orientadas a mercados, como las producidas para servicios públicos (salud, educación, cultura, etc.) poniendo el valor social en el centro en vez del valor económico, pero reconoce que este tipo de innovación ha sido menos estudiado y debería tratarse en un manual aparte (OECD, 2005).

Por otro lado, puede ser peligroso evaluar la relevancia de tecnologías para adaptación sólo o principalmente por su potencial para generar o preservar valor económico, en particular cuando representan la protección de patrimonio intangible y ecosistemas. Es por eso que en este estudio, la relevancia de las innovaciones tecnológicas se determina por su relación con el aumento o conservación del bienestar de poblaciones humanas. De esta manera se reconoce el valor de todo aquello que es difícil o hasta inútil monetizar y que puede estar en riesgo por el CC como vidas humanas, ecosistemas, los sitios sagrados, el territorio originario, las tradiciones, etc.

En este caso el concepto de *novedad* tiene cierto nivel de redundancia, ya que toda acción para lidiar con el CC implica enfrentar fenómenos que no existían antes en ese lugar o que se presentan con una frecuencia o intensidad desconocida en esa zona. Por lo tanto, se puede decir que toda solución técnica para adaptación es novedosa. Sin embargo, es importante recalcar que en este caso el concepto de innovación involucra todo aquello que no se encuentra en el estado del arte²⁴, pero también tecnología existente que toma funciones novedosas por la aplicación o ubicación de la aplicación diferente a la que se desarrolló en primera instancia. Esto implica que, contrariamente a la innovación tecnológica de punta, la innovación en tecnologías para la adaptación puede estar al alcance de todos. De hecho, parte de estas tecnologías son desarrolladas y/o implementadas por quien la necesita. El usuario se puede convertir en desarrollador, sin necesidad de recorrer mecanismos convencionales de mercado. Este tema se profundizará en el Capítulo 5 donde se discute más a profundidad algunos tipos de innovación asociados a tipos de adaptación. De esta manera se expone la complejidad del tema ya que implica una gama muy amplia de escenarios donde se puede desarrollar: desde los laboratorios de más alta tecnología, hasta en el campo; para preservar o generar grandes cantidades de dinero o para el cuidado de la casa de una sola familia.

Esta nueva definición puede tener implicaciones prácticas importantes. En primera instancia, definir es necesario para caracterizar lo que nos puede permitir entender mejor cómo incentivar, apoyar y eficientar los diferentes procesos asociados a la innovación en TA. Esto puede sentar las bases para guiar líneas de investigación y proyectos académicos o de vinculación, y también puede representar los primeros pasos para generar una estrategia nacional de innovación en TA. Finalmente, por el concepto de justicia y equidad en materia de CC, existen muchos fondos que apoyan el desarrollo e implementación de TA. Mediante la definición, diferentes proyectos se pueden volver elegibles para apoyos internacionales y nacionales.

²⁴ Como lo indica la definición de *nuevo* en el lenguaje jurídico referente a innovaciones universales.

Resumen

Para la implementación y mejora de estrategias de fomento a la innovación tanto a nivel empresarial como gubernamental, es necesario tener la capacidad de medir la innovación. Las mediciones más convencionales, como la cantidad de patentes y su retorno son limitadas por lo que es necesario una medición más holística e inclusiva. El WIPO realiza la medición sistémica de la mayoría de los países más inclusiva llamada Índice Global de Innovación. Evalúa *entradas* que son elementos que permiten distintos tipos de innovación y *salidas* que representan indicadores que permiten inferir producción innovadora. El estudio de este índice reveló que México se encuentra en un nivel de innovación extremadamente bajo para el tamaño de su economía. Respecto a América latina se encuentra en una posición de liderazgo mientras que respecto a la OCDE cuenta con las calificaciones más bajas en casi todos los indicadores. Uno de los principales elementos que explica los niveles de innovación es la falta de inversión pública en la materia y la falta de un marco institucional que fomente la innovación en las empresas.

La academia es una de las principales fuentes de innovación con un gran porcentaje de las patentes, el capital humano y la mayoría de la investigación científica pero carece de herramientas para implementar la tecnología. En ese sentido se presenta la vinculación de la academia y la industria como una de las mayores áreas de oportunidad para potenciar la innovación en los dos sectores. Como México reconoce la innovación como una de las prioridades del desarrollo económico existe un marco un marco legislativo e institucional que fomenta, dirige y articula la innovación entre sus distintos actores, pero debe contar con más financiamiento y posiblemente explorar nuevos esquemas de fomento a la cooperación entre instituciones y que aproveche la industria extranjera instalada en el país.

La innovación tiene muchas definiciones que varían por época, sector y escala pero en el caso general carece de algunos elementos fundamentales en la innovación en tecnologías para la adaptación. Por un lado, es necesario que no solo esté motivada por su capacidad de producir capital económico sino de su capacidad de incrementar el bienestar de la población y la preservación del territorio. Además, es necesario reconocer la participación de actores y producciones generalmente marginalizados de la innovación tecnológica, como los conocimientos tradicionales y los innovadores sociales. De este modo, la definición de innovación en tecnologías para la adaptación centra el potencial social de la tecnología y valora la participación de todo tipo de agentes innovadores.

Bibliografía

- Cedano, K., del Río, J., & Martínez, M. (2009). Alcanzando Empresas Creadoras de Conocimiento en México: las Ventajas de las Alianzas Universidad-Industria.
- CONACyT. (2014). *Programa Especial de Ciencia, Tecnología y Sociedad*. Recuperado de <http://www.siicyt.gob.mx/index.php/normatividad/nacional/programa-especial-de-ciencia-tecnologia-e-innovacion-peciti/2014-programa-especial-de-ciencia-tecnologia-e-innovacion/623-peciti-2014-2018/file>
- CONACyT. (2016). Repositorio Nacional. Recuperado el 9 de marzo de 2019, de <https://www.repositorionacionalti.mx/>
- de Mendoza, A. G. H. (2016). *La Innovación: un factor clave para la competitividad en las empresas*. Confederación empresarial de Madrid.
- Echeverría, J. (2008). La innovación desde una perspectiva filosófica. *Revista electrónica Tribuna de debate Madrid n° 46*. Recuperado de https://www.madrimasd.org/informacionidi/revistas/monograficos/monografias/monografia20/20_bloque1_04.pdf
- Eckstein, D., Hutfils, M.-L., & Wings, M. (2019). *Global Climate Risk Index*. GermanWatch. Recuperado de https://www.germanwatch.org/sites/germanwatch.org/files/Global%20Climate%20Risk%20Index%202019_2.pdf
- Fondo Monetario Internacional. (2015). Report for Selected Countries and Subjects. Recuperado el 8 de marzo de 2019, de
- Forbes Staff. (2018, diciembre 29). Plan económico de AMLO se basará en la innovación, la diversificación y la inclusión • Forbes México. Recuperado el 26 de febrero de 2019, de <https://www.forbes.com.mx/plan-economico-de-amlo-se-basara-en-la-innovacion-la-diversificacion-y-la-inclusion/>
- Gobierno de la República. (2014). *Programa Especial de Ciencia Tecnología e Innovación 2014 - 2018*. Recuperado de http://www.dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5354626
- Ley de la Propiedad Industrial (1991). Recuperado de http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/50_180518.pdf
- Mtro. Cosbert, J. (2018). Oficinas InnovaUNAM.
- Nagaoka, S., Motohashi, K., & Goto, A. (2010). Chapter 25 - Patent Statistics as an Innovation Indicator. En B. H. Hall & N. Rosenberg (Eds.), *Handbook of the Economics of Innovation* (Vol. 2, pp. 1083–1127). North-Holland.
- OECD. (2005). *Oslo manual*. Publications de l'OCDE.
- OECD. (2018). Oslo Manual 2018. Recuperado el 21 de enero de 2019, de https://read.oecd-ilibrary.org/science-and-technology/oslo-manual-2018_9789264304604-en
- Rantil, M. (Publicado el 9 ago. 2017). *TEC Special Event on Innovation and Climate*. Bonn: Climate Conference. Recuperado de www.youtube.com/watch?v=Uel4nT95gT8#action=share
- Secretaría de Economía. (2006). Programa Nacional de Innovación. Recuperado el 22 de enero de 2019, de <http://www.2006-2012.economia.gob.mx/comunidad-negocios/innovacion/innovacion-programa-nacional-innovacion>
- UNESCO. (2019). How much does your country invest in R&D? Recuperado el 6 de febrero de 2019, de www.uis.unesco.org/_LAYOUTS/UNESCO/research-and-development-spending/index-en.html

- WIPO (Ed.). (2016). Conceptual Framework. En *Global Innovation Index* (pp. 49–56).
- WIPO. (2018). Statistical Country Profiles. Recuperado el 6 de marzo de 2019, de https://www.wipo.int/ipstats/en/statistics/country_profile/profile.jsp?code=MX
- WIPO. (2019). Economy Reports & Analysis | Global Innovation Index. Recuperado el 6 de marzo de 2019, de <https://www.globalinnovationindex.org/analysis-economy>

Capítulo 5 | Innovación en Tecnologías para la adaptación

La definición de innovación que construimos integra distintos tipos de innovación y permite una pluralidad de actores. Desde la innovación más avanzada en laboratorios de talla internacional con ingenieros y científicos especializados, hasta las herramientas que construye un campesino para trabajar su tierra frente a los nuevos retos que implica su práctica en un contexto de cambio climático. También reconocemos tres tipos de tecnología, la tecnología dura, la suave y la de organización que se refiere a productos, servicios y esquemas organizativos respectivamente. Finalmente entendemos como un proceso innovativo el desarrollo de una nueva tecnología pero también el adaptar a una aplicación específica una tecnología desarrollada en otro lado o para una finalidad distinta. En esos casos los retos principales de innovación se encuentran en la identificación, difusión, acondicionamiento, optimización e implementación de la tecnología, no en el desarrollo inicial. De este modo construimos un concepto de innovación tan amplio que sería imposible divisar una estrategia o institución que pueda promover su desarrollo y apoyar y articular a todos sus actores por igual. Sin embargo, hay elementos que relacionan todos estos tipos de innovación, y sí se podría imaginar una estrategia que reconozca todas estas variantes, sus implicaciones y su potencial e integre distintos elementos que impulsen la adaptación rápida y efectiva en México a todos niveles a través de la innovación tecnológica.

Comenzaremos por proponer un espacio en el marco jurídico e institucional nacional donde podría existir una estrategia nacional de innovación en tecnologías para la adaptación. Propondremos algunos elementos necesarios para llevar a cabo procesos exitosos de innovación en TACC. Estudiaremos la participación de la transferencia de tecnología en esta estrategia y sus límites. Mas adelante analizaremos distintos modelos actuales de innovación que podrían participar en esta estrategia. Finalmente propondremos tres tipos de innovación en TACC y la participación de distintos actores en cada uno de ellos.

Este capítulo no pretende presentar a detalle esta estrategia nacional de innovación en adaptación, pero si concretar algunos de los elementos fundamentales que puede contener para que sirvan de punto de partida para su elaboración futura.

Inserción en el marco jurídico e institucional

Como se mencionó antes, México no ha publicado su Plan Nacional de Adaptación (NAP), tampoco su Evaluación de las Necesidades Tecnológicas para enfrentar el cambio climático (TNA). Algunos países también han publicado su Evaluación de Necesidades de Innovación Tecnológica para enfrentar el cambio climático (TINA por sus siglas en inglés) pero México no es uno de ellos. Por lo tanto, no existe un marco gubernamental ni institucional específico para la innovación en tecnologías para la adaptación al cambio climático en México. Sin embargo, analizando los distintos documentos gubernamentales enfocados a acción climática y a innovación, podemos encontrar elementos que podrían justificar, basándose en la Ley mexicana, una política pública en innovación en tecnologías para la adaptación.

Esta sección comenzará con un diagnóstico de la política mexicana para entender las componentes en los documentos de cambio climático de la innovación tecnológica y las componentes de cambio climático en los documentos sobre innovación tecnológica. Se concluirá con los elementos que podrían constituir la base de la política pública en el tema de esta tesis.

Elementos de adaptación al cambio climático en el Programa Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación (PECiTI)

La Ley de Ciencia y Tecnología, publicada en 2002 y reformada por última vez en 2015, no menciona cambio climático en ninguna ocasión (Ley de Ciencia y Tecnología, 2015). Esta ley, un marco jurídico e institucional que permite y fomenta la innovación tecnológica sin especificar a detalle las direcciones y prioridades que debe tomar. Esa función se determina sexenalmente y se publica en el PECiTI. Este programa tiene como objeto el complementar el Programa Nacional de Desarrollo vigente con todo lo relativo a la ciencia, tecnología e innovación. El gobierno 2018- 2024 espera publicar su Programa en abril del 2019 (Toche, 2019), por lo que en esta tesis se analizará únicamente el PECiTI 2014-2018 .

Este programa se desprende del Objetivo 3.5 del Programa Nacional de Desarrollo (PND), que a la letra dice: “Hacer del desarrollo científico, tecnológico y la innovación pilares para el progreso económico y social sostenible”. Para cumplir con ese objetivo, el Programa considera las 5 estrategias mencionadas en la Tabla 20. De manera puntual, el PECiTI, menciona la adaptación al cambio climático dos veces, en un caso como uno de los cinco temas prioritarios en el área de medio ambiente, en el otro como una línea de acción en el sector ambiental. Cambio climático se menciona en trece ocasiones. seis de ellas son para relacionar las funciones del PECiTI con las de la ENCC, aunque solo asociado con el desarrollo de la Secretaría de Marina²⁵ por razones que no son del todo claras. En las otras ocasiones que se menciona cambio climático, son para aumentar la resiliencia del sector

²⁵ En seis ocasiones, menciona textualmente “Impulsar la investigación y desarrollo tecnológico institucional contribuyendo al Desarrollo Marítimo Nacional y a la Estrategia Nacional de Cambio Climático.” bajo diferentes rubros asociados con la innovación en la Marina Nacional, sin especificar las razones para tratar de manera conjunta la Marina y el cambio climático.

turismo, en temas de mitigación asociados a la energía, y para temas de biotecnología y implementación de Organismos Genéticamente Modificados (OGM). Este último tema es también el único que se trata como una sección aparte, lo que evidencia su priorización.

La palabra vulnerabilidad solo se menciona una vez en la estrategia 6.2.6 que dice “Desarrollar proyectos de investigación, desarrollo, adaptación y transferencia de tecnologías apropiadas para sectores vulnerables de la población” (Gobierno de la República & CONACyT, 2014). Por otro lado, cabe destacar que la palabra militar se menciona 37 veces.

A través de este análisis, vemos que dentro de la política de ciencia tecnología e innovación, se considera la adaptación sobre todo desde un enfoque de cuidado ambiental y protección del sector turismo. Las componentes sociales de la adaptación, enfrentadas principalmente desde la disminución de la vulnerabilidad, se tratan en menor medida. Por lo poco que se menciona, y los temas a los que se asocia, podemos también concluir que para el gobierno de Enrique Peña Nieto, el cambio climático no se consideró como una prioridad en materia de ciencia, tecnología e innovación. O al menos se consideró como un tema menos prioritario que el desarrollo de las capacidades del Ejército y la Marina.

Tabla 20 | Estrategias para cumplir con objetivo de desarrollo

Objetivo Nacional	Estrategias
Hacer del desarrollo científico, tecnológico y la innovación pilares para el progreso económico y social sostenible	Contribuir a que la inversión nacional en investigación científica y desarrollo tecnológico crezca anualmente y alcance un nivel de 1% del PIB.
	Contribuir a la formación y fortalecimiento del capital humano de alto nivel.
	Impulsar el desarrollo de las vocaciones y capacidades científicas, tecnológicas y de innovación locales, para fortalecer el desarrollo regional sustentable e incluyente.
	Contribuir a la transferencia y aprovechamiento del conocimiento, vinculando a las instituciones de educación superior y los centros de investigación con los sectores público, social y privado.
	Contribuir al fortalecimiento de la infraestructura científica y tecnológica del país.

Elementos de Innovación tecnológica en la LGCC y la ENCC

La LGCC, declara en el punto V del artículo segundo de su Capítulo unico, que el fomento a la innovación tecnológica en materia de adaptación es uno de sus objetivos. Recalca la responsabilidad del INECC en asegurar la cooperación entre los diferentes actores de la investigación científica y la innovación en México, como la SEP, los centros de investigación y otras instituciones. A la CICC, le asigna la responsabilidad de proponer y apoyar proyectos de innovación. Y finalmente le declara que los recursos del Fondo para el Cambio Climático

se deberán destinar entre otros a proyectos de innovación establecidos en la ENCC (Ley General de Cambio Climático, 13 de abril 2018).

En la ENCC, se menciona innovación en ocho ocasiones. Todas ellas son en relación a la implementación de una Plataforma de Investigación, Innovación, Desarrollo y Adecuación de Tecnologías Climáticas y Fortalecimiento de Capacidades Institucionales. Esta Plataforma, constituye el tercer pilar para la construcción de la política pública en materia de cambio climático propuesta por la ENCC. Cinco de las líneas de acción de esta Plataforma mencionan adaptación. Tres de ellas en materia de fortalecimiento de capacidades, particularmente del gobierno para que cuente con el conocimiento y las herramientas necesarias para implementar medidas efectivas de adaptación. Las otras dos refieren más particularmente a temas de investigación e innovación en la materia. Destacamos otras tres líneas de acción que no mencionan adaptación pero están relacionadas. En la Tabla 21 se citan las cinco líneas de acción de la Plataforma que se relacionan con innovación en tecnologías para la adaptación en México. Los temas que se destacan relativos a la innovación en tecnologías para la adaptación son: la mejora en la capacidad para evaluación de riesgos, la focalización de investigación y acciones por región y sectores, el aumento de la resiliencia de la infraestructura pública y privada, el valor del conocimiento local en los temas de adaptación y la relación entre la correcta implementación de la tecnología para la adaptación y el estado macroeconómico del país (SEMARNAT & INECC, 2013).

Tabla 21 | Líneas de acción relativas a la innovación en tecnologías para la adaptación

P3.6	Impulsar la investigación y focalizar acciones de innovación tecnológica por región, ecosistemas, centros de población, equipamiento e infraestructura, sectores productivos y grupos sociales en la evaluación de la vulnerabilidad y diseño de medidas de adaptación para que la infraestructura del país se encuentre preparada ante los riesgos que representan los desastres ocasionados por el cambio climático y exista tecnología capaz de consolidar a México como una potencia emergente en los próximos años.
P3.9	Fomentar la mejora de tecnologías relacionadas con el monitoreo de condiciones meteorológicas, climatológicas e hidrométricas
P3.10	Identificar, sistematizar y analizar la información existente en el país en materia de cambio climático y particularmente en adaptación, en donde se requiere realizar investigación en sectores productivos ante ocurrencia de eventos climáticos tales como sequías y huracanes, determinar la vulnerabilidad de infraestructura, generar mecanismos de obras y esquemas de organización de ordenamiento ecológico del territorio para aumentar la resiliencia .
P3.11	Generar conocimiento , mediante la investigación nacional, para entender e interpretar el cambio climático y sus impactos en México
P3.12	Crear y fortalecer esquemas de coordinación, colaboración y redes que integren y aprovechen el conocimiento local .

Aunque es claro que el cambio climático y la adaptación no son los temas centrales de la política pública relacionada con innovación, esta política si cuenta con un marco que podría albergar una estrategia nacional que fomente y dirija la innovación en tecnologías para la adaptación. Esta estrategia se podría anclar en la Plataforma de Investigación e Innovación que promueve la ENCC, que incluye distintos elementos de adaptación. La ENCC por si misma no es un documento vinculante, es un instrumento guía para la política pública. Por lo tanto para que su contenido se materialice, tiene que existir otro tipo de documento que la referencie y que establezca los mecanismos necesarios para que se cumplan las metas que establece. Mientras que la LGCC desde su concepción hace referencia a la ENCC, tampoco establece los mecanismos puntuales que permiten su cumplimiento. Esa función solo se puede cumplir mediante los distintos Programas de Desarrollo o Programas Especiales o si lo mencionan los estatutos de alguna institución pública. Por ejemplo el PECiTI 2014-2018, que señala como parte de sus funciones el asegurar que el desarrollo tecnológico contribuya a cumplir con los objetivos de la ENCC. Para que la Plataforma de Investigación se materialice, apoyada por la política pública en materia de innovación y se refuercen sus componentes de adaptación, es necesario que en los PECiTI subsecuentes se mantenga y refuerce la postura de relación con la ENCC.

Hasta ahora, la política pública en materia de ciencia, tecnología e innovación ha sido más prominente que la de cambio climático en México. En efecto, mientras que la LGCC estipula que el ejecutivo federal debe presidir las sesiones ordinarias de la CICC, esto no ha sucedido en ninguna de sus 12 sesiones (INECC, 2018), mientras que si ha presidido la mayoría de las reuniones del Consejo General de Investigación Científica, Desarrollo Tecnológico e Innovación. Por esta razón, creemos que para que se implemente una efectiva política pública en materia de innovación en tecnologías para la adaptación, es necesario que esta esté incluida no solo en la política de cambio climático, sino también en la de ciencia, tecnología e innovación. Actualmente, el objetivo principal de la política nacional de innovación relaciona la innovación con el progreso sostenido y sostenible. Por lo tanto, sería necesario comprobar la dependencia entre la implementación de tecnologías para la adaptación desarrolladas y acondicionadas en el país con la salud presente y futura del país a diferentes escalas (bienestar de la población, la economía nacional, el papel de México en el mundo, etc), lo que el PECiTI denomina progreso. Comprobar esta relación, es uno de los objetivos de esta tesis, lo cual permitiría concluir que innovar en tecnologías para la adaptación es, o debería ser, un objetivo de relevancia nacional tanto para la política pública de cambio climático como para la de innovación.

De este modo, como se resume en la Figura 15, la estrategia nacional de innovación en tecnologías para la adaptación se desprende de la Plataforma de Ciencia, Tecnología e Innovación propuesta por la ENCC, para luego formar parte de las prioridades de los PECiTI lo que cimentaría una serie de instrumentos rectores, de financiamiento y apoyo.

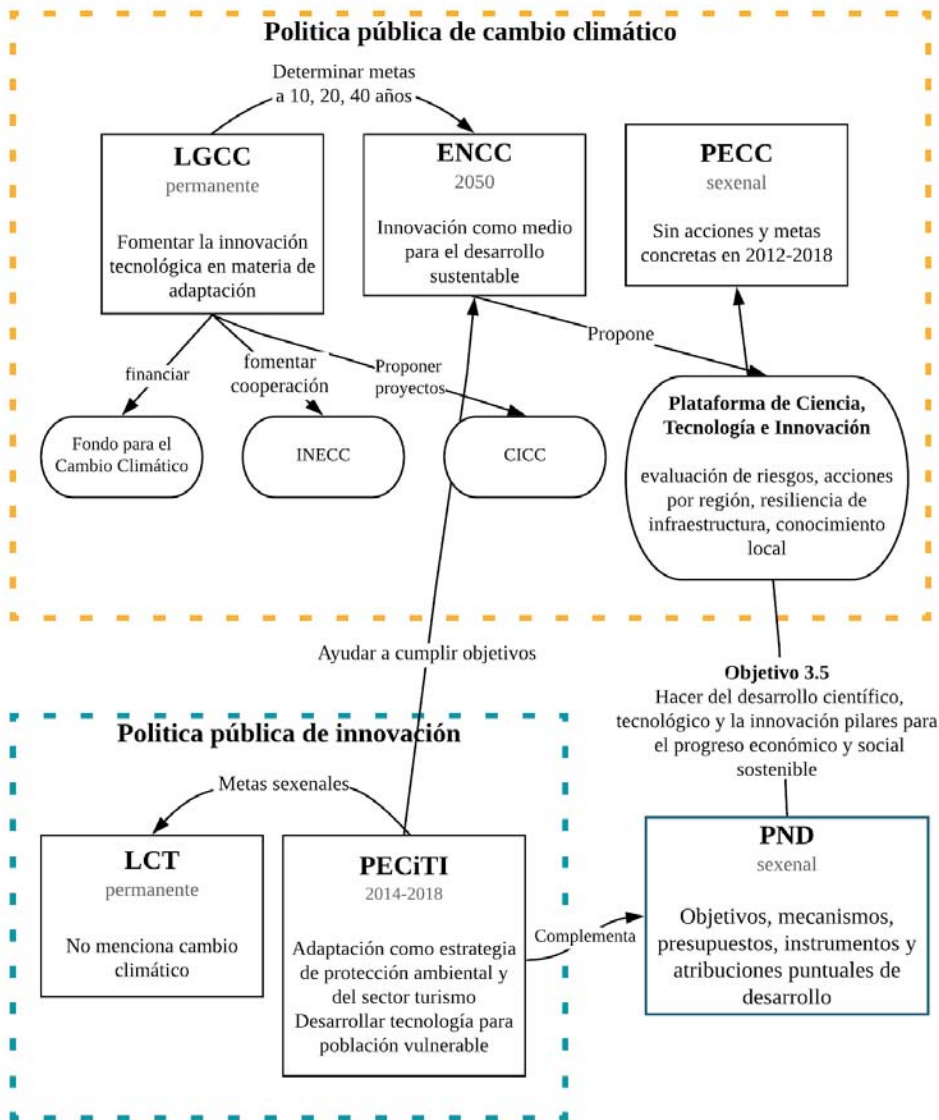


Figura 15 | Elementos de innovación en tecnologías para la adaptación en la política pública nacional

Fuente: Elaboración propia

Elementos para la innovación en tecnologías para la adaptación

La novedad, la pluralidad de actores, el enfoque a largo plazo, la incertidumbre asociada a las predicciones climáticas y la necesidad generalizada son algunos de los elementos que hacen que la innovación en tecnologías para la adaptación implique ciertas especificidades y se pueda nutrir de áreas menos convencionales en la innovación tecnológica convencional. A continuación se describen algunas de las consideraciones y especificidades que podrían ser tomadas en cuenta para desarrollar tecnología que permita la adaptación en México.

Características mínimas

Como se ha mencionado antes, la innovación en adaptación implica un enfoque holístico en todas sus etapas. Para asegurar que cada solución considere los distintos aspectos sociales, económicos y ambientales en el contexto de cambio climático se pueden considerar los siguientes elementos:

- **Factibles:** Deberán considerar un análisis de factibilidad que contemple distintas variables: políticas, financieras, legales, técnicas o tecnológicas, sociales, institucionales, regulatorias, entre otras. Lo anterior asegurará una implementación más efectiva.
- **Presupuestadas:** Una vez que se tengan las acciones se deberá identificar e incluir en su descripción la fuente de financiamiento o partida presupuestaria con la que se llevará a cabo la acción. Lo anterior asegurará, en la medida de lo posible, su implementación y seguimiento. Así como incluir análisis costo-beneficio.
- **Sinérgicas:** Que contemplen beneficios o impactos para mitigación de GEI.
- **Co-beneficios:** Deben considerar o incluir beneficios adicionales tales como impactos indirectos ambientales, biofísicos, sociales, económicos (e. g. generación de empleos, impactos positivos a la salud, incremento en la productividad), etcétera.
- **Alineadas:** Considerar el marco legal e institucional nacional, así como en la legislación y los programas a nivel local.
- **Evaluables:** Deberán considerar una línea base, una unidad de medida, un reporte para el monitoreo de sus avances que permitan desarrollar el monitoreo y evaluación (M&E) de las medidas de adaptación.
- **Equidad:** Las acciones deberán –de considerarlo pertinente– el enfoque de equidad de género.
- **Credibilidad:** Que cuenten con sustento científico y aceptación cultural y social.
- **No arrepentimiento (No Regret):** Verificar que la implementación de una acción en un sitio no tenga repercusiones negativas en otro.
- **Reversibilidad:** Esta característica se puede considerar en el planteamiento de medidas no duras como son las que toman en cuenta el enfoque AbE, privilegiando la recuperación de los bienes, servicios y funcionalidad ecosistémica.
- **Barreras:** Deberá considerarse en el diseño de las medidas de adaptación las posibles barreras legales, de capacidades, tecnológicas, económicas, sociales e institucionales en la fase de implementación.

(Semarnat, 2015)

De este modo, se consolida una serie de elementos que debe cumplir la tecnología para la adaptación y deben ser considerados desde el proceso de diseño. Es claro que no todos los elementos son de la competencia de un ingeniero, como las *barreras* que involucran más bien al derecho, pero es justo por esta razón que se plantea la transdisciplina desde el diseño como un elemento fundamental para la innovación en tecnologías para la adaptación.

Transdisciplina y complejidad

La implementación apropiada de una estrategia de adaptación requiere que se cumplan todos los elementos de la sustentabilidad, pero también tiene contribuir con mitigación considerando efectos del cambio climático a diferentes escalas espaciales y temporales. Implementar una estrategia que considere el impacto social, económico y ambiental en un contexto de cambio climático la convierte en una tarea de alta complejidad. Por esta razón se considera la transdisciplina, entendida como la intervención de distintas áreas de conocimiento de manera integrada en todas las etapas del desarrollo e implementación de un proyecto, se considera esencial en materia de adaptación. Contrariamente a la multidisciplina que implica que en un mismo proyecto coexistan diferentes áreas sin forzosamente trabajar en conjunto y retroalimentarse continuamente, la transdisciplina pretende ser una integración real de conocimientos con un importante poder transformativo. En el proceso de innovación en tecnologías para la adaptación, se considera fundamental este tipo de integración de conocimiento. Mientras que la tecnología generalmente se desarrolla desde la ingeniería y con apoyo de algunas otras ciencias duras, como física, matemáticas y química, al incidir en sistemas complejos que afectan vidas humanas, culturas, vida animal y dinámicas físicas terrestres, se considera que también se deben incorporar al proceso de innovación otras disciplinas.

La ciencia de la complejidad ofrece un marco matemático y un proceso de resolución de problemas transdisciplinar que puede brindar herramientas muy valiosas para permitir la adaptación. Actualmente se está implementando en distintos acercamientos de mitigación (Ingwersen, Garmestani, González, & Templeton, 2013; Rowan, 2008; Sun & Yang, 2016) Pero también en temas de adaptación como el diseño y planeación urbana (Timmermans, López, & Roggema, 2012), y el diseño de políticas públicas (Lawhead, 2014). Se puede implementar en temas de análisis de problemática, como para entender posibles impactos del cambio climático tomando en cuenta las dimensiones físicas, biológicas, económicas, sociales, etc. También para la evaluación de estrategias a distintos niveles considerando una amplia gama de posibles resultados. Este marco matemático también puede ser usado en el área del modelado y control de sistemas físicos y no físicos con interacciones complejas como las que implica el CC. Este tipo de control se puede beneficiar mucho del desarrollo de redes neurales multiplicando enormemente su capacidad de optimizar sistemas y procesos para desarrollar respuestas al cambio climático eficientes y seguras.

Biomimética

El proceso de selección natural implica un fenómeno iterativo en el que por medio de interacciones biológicas y físicas se prueban y descartan una gran cantidad de opciones para permitirle a un ser vivo desarrollarse en su ambiente. Estudiando la manera en la que en la naturaleza se solucionan complejos problemas físicos y biológicos, podemos encontrar pistas para solucionar problemas tecnológicos de gran relevancia con “con mucha elegancia y bajo costo para el planeta” (M.Benyus, 1997). A esta disciplina se le conoce como biomimética y puede ofrecer una poderosa herramienta para desarrollar tecnología sustentable que nos ayude a adaptarnos al cambio climático. Esto refuerza la importancia de la transdisciplina en la innovación en este caso enfocada a los ecólogos y biólogos.

Como demostró el estudio cuantitativo del *Capítulo 2*, la mayoría de la investigación científica sobre adaptación en este país se lleva a cabo en las áreas de la ecología y la biología, estudiando como poblaciones o especies se están o podrían adaptarse al cambio climático. Por esta razón, podríamos imaginar también una nueva rama de la biomimética que encuentre lecciones y soluciones tecnológicas en la adaptación de la naturaleza al CC aplicables a poblaciones humanas o infraestructura. Aunque entender la adaptación de poblaciones biológicas no es en absoluto trivial, consideramos que podría ofrecer importantes soluciones para las problemáticas que implica el CC, en especial si se estudia con el apoyo de las ciencias de la complejidad.

Financiamiento

El financiamiento es el reto más importante reconocido por los países que completaron sus TNA (UNFCCC, 2013). Pero también representa una de las principales áreas de enfoque en las COP, donde se busca desarrollar mecanismos sólidos e innovadores que permitan la adaptación de los países en vías de desarrollo. La innovación en tecnologías para la adaptación tiene cuatro fuentes principales potenciales: gobierno federal, estatal o municipal, instancias internacionales, sociedad civil o el sector privado. El gobierno federal es actualmente el principal financiador de la investigación científica y tecnológica y de los principales de la innovación tecnológica. Además, al ser materia de salud pública con implicaciones macro y microeconómicas, se espera que sea también el principal financiador y promotor de este tipo de innovación. En los distintos temas relativos a la adaptación, se requiere una importante capacidad gubernamental en especial en un país como México con fuertes desigualdades sociales (Technology Executive Committee, 2015). Los diferentes mecanismos de financiamiento del gobierno, desde las becas a investigadores, hasta el capital semilla, las incubadoras y los préstamos, se pueden implementar en todas las etapas del desarrollo tecnológico para la adaptación (Technology Executive Committee, 2015). Los fondos internacionales funcionan de una manera muy similar, apoyando todas las etapas de la innovación y sumando una importante capacidad de asesoría cuando se tratan de fondos especializados. El Mecanismo de Financiamiento de la UNFCCC integra distintos fondos relacionados con la ONU, muchos de los cuales están enfocados a la innovación e implementación de tecnología en los países en desarrollo. Según datos del Centro Mexicano

de Derecho Ambiental, México ha recibido más de \$4,000 millones de dólares de financiamiento climático internacional de los cuales la mayoría es de mecanismos de la UNFCCC, aunque 75% al 2014 fueron para mitigación (Niño, 2014; Technology Executive Committee, 2015).

A través de distintas ONG, y mecanismos como becas, y proyectos en concreto, la sociedad civil también puede financiar proyectos de innovación tecnológica en la materia. Especialmente para temas de protección ambiental y de resiliencia de las poblaciones más vulnerables.

El sector privado, en muchos casos apoyado por fondos públicos e internacionales, también tiene participación en el financiamiento de la innovación en la materia. Con enfoque principal a la tecnología necesaria para asegurar sus activos y su participación en el mercado frente a los efectos del cambio climático. Las empresas enfocadas a temas de adaptación pueden financiar una gran parte de sus procesos de innovación y cuentan con mucho acceso a financiamiento externo.

En temas de mitigación, muchos autores han demostrado que transicionar a un sistema de bajas emisiones no solo es menos caro que permitir que el cambio climático siga incrementando, sino que todos sus costos se pueden solventar rápidamente hasta empezar a producir más ganancias que el modelo de desarrollo convencional (Islas, Manzini, Macías, & Grande, 2015). De este modo el financiamiento en temas de mitigación entra, con algunas reservas, dentro de los esquemas de financiamiento convencionales, ya que la inversión en distintas medidas de mitigación, como las energías renovables y la eficiencia energética, se solventa y puede eventualmente generar ganancias independientemente de lo efectiva que sea la mitigación (cuántas emisiones reales de CO₂ se eviten). En materia de adaptación este tema puede ser más complejo. Como se mencionó antes, las acciones de adaptación se llevan a cabo por dos razones: para asegurar el bienestar de la población o la salud de ecosistemas, o para evitar pérdidas materiales. En el caso de las pérdidas, es más fácil evaluar el costo de la medida de adaptación en relación con el costo potencial de los daños. Respecto a las medidas en vela del bienestar y los ecosistemas, ese balance de costo beneficio no tiene sentido. Una de las respuestas para formular un sistema de financiamiento puede recaer en entender la relación entre el bienestar, los ecosistemas y la infraestructura en un contexto de cambio climático. Otro de los elementos que suman complejidad a este tema son las incertidumbres asociadas a los impactos potenciales y la efectividad de las medidas ya que en muchos casos no hay o hay poco precedente (Micale, Tonkonogy, & Mazza, 2018). En México el Fondo para el Cambio Climático y los Fondos Sectoriales podrían ser fuentes de financiamiento pero se deja a estudios posteriores entender posibles esquemas para financiar la innovación en tecnologías para la adaptación en el país.

Transferencia de tecnología

El imperativo de la transferencia de tecnología se desprende de los compromisos de justicia climática pactados en las COP. Esto es la responsabilidad de los países más desarrollados que más han contaminado de ayudar a los países menos desarrollados que menos han contaminado a enfrentar los retos que les presenta el cambio climático. En el caso general los países más desarrollados han construido su capital desarrollando y exportando tecnología, sería una fuerte contradicción moral utilizar esta capacidad tecnológica para vender soluciones a los países menos desarrollados. Por lo tanto, en el marco de la COP, los países desarrollados se han comprometido a compartir tecnología con los menos desarrollados y ayudarlos a financiar el desarrollo y la implementación de su propia tecnología. Por desgracia estos compromisos al ser parte de un tratado internacional no son vinculantes, lo que implica una imposibilidad de asegurar que se cumplan. Por ejemplo, Estados Unidos, uno de los principales exportadores de soluciones tecnológicas, ya se ha retirado de los Acuerdos de París lo que pone en riesgo el panorama de cooperación planteado. México y los demás países en desarrollo, toman en cuenta esta transferencia de tecnología como parte de sus NDCs condicionadas, lo que quiere decir que se comprometen a ciertas metas de adaptación y mitigación siempre y cuando los demás países cumplan con su compromiso de transferencia tecnológica. Actualmente, muchos países ya están cumpliendo con su participación en la transferencia tecnológica a través de sus aportaciones al Green Climate Fund y el trabajo de sus Agencias de Cooperación y Universidades.

Organismos internacionales de apoyo

La COP establece el Mecanismo de Tecnología integrado por los dos organismos siguientes para cubrir las diferentes necesidades asociadas a facilitar el desarrollo y la transferencia de tecnología para cumplir con los objetivos de mitigación y adaptación de las Partes.

Technology Executive Committee (TEC)

Creado en 2010, es el brazo de políticas públicas del Mecanismo de Tecnología. Se enfoca en identificar y mejorar políticas públicas que puedan acelerar el desarrollo y la transferencia de tecnología para el combate climático. Está constituido de expertos en tecnología y organizan distintos eventos al año para producir documentos y brindar apoyo directo. También asesoran al Secretariado de la UNFCCC en la materia (TTClear, 2018)

Climate Technology Center and Network (CTCN)

El CTCN es el brazo operativo del Mecanismo de Tecnología de la UNFCCC, albergado por el Programa de Medio Ambiente y la Organización de Desarrollo Industrial ambos organismos de la ONU. El Centro promueve la transferencia acelerada de tecnologías ambientalmente amigables a países en desarrollo para impulsar su desarrollo resiliente y bajo en carbono. A través de la experiencia de su red global de empresas e instituciones, porcionan soluciones tecnológicas, asesoría política, regulatoria y legal. En México han participado en un gran número de

proyectos, la mayoría orientados al sector energético desde el nivel macro con la asesoría para un mapa de ruta de redes inteligentes y diversos mapeos de potencial de generación renovable, hasta sistemas fuera de la red para la agricultura nativa. También se han enfocado en movilidad sustentable en ciudades y en menor medida en acciones de adaptación como reforestación de manglares y promoción de la equidad de género en comunidades indígenas.

Tanto el TEC como el CTCN han trabajado en distintas ocasiones con el Green Climate Fund para financiar diferentes proyectos en países en vías de desarrollo. Destaca la creación de distintas incubadoras y aceleradoras de empresas y tecnología como producto de su colaboración.

Seguridad Tecnológica

La transferencia de tecnología reduce las necesidades de innovación. Aunque en muchos casos es necesario y útil contar con el apoyo y conocimiento de otros países, al ser un tema altamente regional los países más desarrollados no siempre van a presentar los mismos efectos del cambio climático y el contexto social y cultural no siempre permite que se enfrenten del mismo modo. Por lo tanto en algunos casos la transferencia de tecnología es irrelevante si los países desarrollados no generan la tecnología que se necesita en los países en vías de desarrollo.

“Como el queso en Francia, los autos en Alemania, el cambio climático es un negocio en Holanda” ([Kimmelman and Haner 2017](#)) señala un periodista refiriéndose a las delegaciones de países que acuden a firmas de alta tecnología holandesas para comprar tecnología para enfrentar inundaciones. ¿Qué costo puede implicar comprar la tecnología para enfrentar el cambio climático de los países más desarrollados? ¿Tenemos los recursos necesarios?

La transferencia de tecnología accesible planteada en los Acuerdos de París, es altamente sensible a un ambiente de cooperación entre países, por lo que la innovación en estos temas involucra también un elemento de seguridad nacional. No se puede confiar del todo en que otros países desarrollen y compartan la tecnología que necesita México. Es necesario que se construya la capacidad tecnológica en el país para depender en menor medida de afuera para disminuir las pérdidas en nuestra población y territorio.

Cooperación regional en innovación

La implementación efectiva de proyectos y tecnologías para la adaptación no solo depende de las características físicas del caso, sino que es muy sensible a distintos elementos culturales. Por lo tanto una tecnología que se aplica exitosamente en un lugar, no forzosamente se puede aplicar del mismo modo en otro que presenta impactos similares. Mientras que cada caso tiene sus especificidades, y no se debe pretender poder desarrollar una solución absoluta que se pueda replicar en todo el mundo, la transferencia de tecnología es facilitar dentro de una misma región que comparte características ambientales pero también historia, cultura y contextos socio económicos y políticos similares. En efecto, materia de adaptación, la cooperación y transferencia de



tecnología entre países en vías de desarrollo es uno de las principales recomendaciones del Technology Mechanism, contrariamente a los mecanismos convencionales de transferencia o venta de tecnología de países desarrollados a países en desarrollo (TEC & CTCN, 2018; UNFCCC, 2017). De este modo, una red latina de cooperación y transferencia de tecnología podría tener un gran impacto en reducir las pérdidas de cada país, reforzando una identidad compartida y mecanismos de comercio. Además, cuando se comparten fronteras, hay una interdependencia en materia de adaptación. Si dos o más países cercanos presentan grandes diferencias en la efectividad de sus estrategias para enfrentar el cambio climático, se detonarán flujos de migración y con ellos un flujo de retos de adaptación. Se proyectan más de 17 millones de migrantes en América Latina que se moverán de zonas menos preparadas a zonas más preparadas para el cambio climático. La migración mal planeada y acompañada implica importantes riesgos para la población migrante y la población huésped. Esto por supuesto no quiere decir que se deben cerrar fronteras, lo que representa uno de los peligros humanitarios más importantes de este siglo, más bien que hay una responsabilidad compartida de asegurar una adaptación efectiva de la región.

El refuerzo de una red de cooperación en América Latina y el Caribe es imperativo para asegurar la seguridad de todos los países de la región. Existen distintos mecanismos que apoyan estas iniciativas, tanto con capital como el Green Climate Fund, como en guía y asesoría como la Incubadora Climática para el Sur de las Naciones Unidas (SCPI por sus siglas en inglés), la Oficina de las Naciones Unidas para la Cooperación Sur-Sur (UNOSSC por sus siglas en inglés) y el el Mecanismo de Tecnología de la UNFCCC.

Modelos de innovación

Las tecnologías para la adaptación son tan variadas que se requieren distintos modelos para poder fomentar y apoyar su desarrollo. Para desarrollar sistemas de pronóstico y alerta temprana se necesitan laboratorios de alta tecnología que tengan la capacidad de hasta diseñar microsátélites. Los sistemas de protección costera móviles y la infraestructura anti inundación requiere laboratorios de hidráulica e ingeniería civil de avanzada. Por otro lado, para mejorar maquinas que facilitan la cosecha o el riego en comunidades aisladas, podría bastar con brindar ciertas herramientas y conocimientos básicos. Para diferentes tipos de innovación, se requieren diferentes modelos de fomento pero en todos los casos la cooperación estrecha con gobierno, sector privado y sociedad es imperativa.

Para la innovación de alta tecnología especializada, existen los Laboratorios Nacionales. Este modelo cuenta con mecanismos de financiamiento asignados por CONACyT, facilita y promueve la transdisciplinariedad y se enfocan a temas de relevancia nacional, lo que lo hace un candidato ideal para tratar algunos temas de adaptación. De hecho ya existe uno que trata temas relativos, el Laboratorio Nacional de Resiliencia Costera (LANRESC) que es parte del Instituto de Ingeniería de la UNAM en la sede de Sisal. En el convergen enfoques de ingeniería y oceanografía costera, biología, química, manejo costero y socioeconómicos para tratar temas relativos a cambios en la dinámica costera del país. Inicialmente se enfoca principalmente a los impactos de la infraestructura humana en distintos sistemas costeros, buscando proponer soluciones sustentables, pero reconocen su pertinencia en temas de cambio climático (de Almeida & Freyermuth, 2018). Valorando la capacidad de los Laboratorios Nacionales de enfrentar de manera holística problemáticas nacionales de alta complejidad , algunas de las problemáticas que se podrían tratar con este modelo son: el monitoreo, pronóstico y alerta temprana; la evaluación de exposición que se podría atribuir al Laboratorio Nacional de Observación de la Tierra; la resiliencia de infraestructura y desarrollo urbano; la protección de ecosistemas; y el manejo de recursos hídricos.

Los Centros Públicos de Investigación son núcleos regionales importantes de desarrollo tecnológico, de hecho dos de las 10 instituciones con más patentes internacionales en 2016 son Centros Públicos. Su modelo se basa en una fuerte interacción entre la academia y el sector privado y cierta vinculación directa con la sociedad. Generalmente integran distintas disciplinas aunque principalmente de ciencia e ingeniería. Se enfocan a problemáticas específicas, como el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias que fue la octava institución con más patentes, o a necesidades regionales como El Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco con el cuarto lugar. Su participación en una estrategia nacional de adaptación, debería valorizar su enfoque regional y su capacidad de vinculación con sector privado y social. Algunas

de las problemáticas que podrían tratar son el manejo agroforestal, la bioenergía²⁶, el manejo de agua para consumo en contextos rurales y agricultura, temas específicos de conservación natural, resiliencia de infraestructura privada,

Para facilitar la innovación en materia de adaptación en el sector privado, se debe contar con apoyos específicos. Del mismo modo que hay fondos por ejemplo, para promover actividades de innovación en eficiencia energética, contar con fondos que financien innovación para incrementar la resiliencia de la operación habitual de la empresa, o para generar nuevos productos específicos para adaptación.

Como herramienta integral, y probablemente la más importante, se tiene la educación superior y técnica, citando a Giménez et al. “capital humano- cantidad y calidad- es el factor más importante a la hora de explicar el éxito innovador” (Giménez, del Pilar Pastor Pérez, et al., 2017). Por un lado en las universidades públicas, se propone que la adaptación permee en la formación de distintas disciplinas. Si bien se deja a consideración de trabajos futuros evaluar si se pueden desarrollar carreras específicas en la materia, sin duda la adaptación y por lo tanto el fomento a la innovación en adaptación puede ser una posibilidad de especialización para distintas ingenierías y otras carreras como la biología, la agronomía, trabajo social, derecho, finanzas, ciencias políticas, economía entre otras. Actualmente sólo encontramos esta posibilidad en México en materia de relaciones internacionales y un posgrado con algunos elementos de adaptación de Ciencias de la Tierra. En las carreras donde pueda ser menos necesario brindar la opción de una especialización en adaptación, también se puede integrar a la formación para que cada profesionista en su práctica tenga conciencia de las problemáticas que los impactos del cambio climático le pueden implicar. Una de las maneras en las que se podría lograr esto es en las materias sobre el contexto mexicano, que en el caso de ingeniería en la UNAM se llama Recursos y Necesidades de México. Por otro lado, en las escuelas técnicas se podría implementar una carrera de este tipo de desarrollo tecnológico con elementos de cambio climático y adaptación basada en ingeniería mecánica. De este modo se consolida una fuerza laboral para promover la innovación de tecnologías de pequeña escala y niveles tecnológicos medios y bajos con especial enfoque al contexto y las problemáticas regionales.

Innovación autónoma y desobediencia tecnológica

La adaptación autónoma, que se refiere a las medidas de adaptación que toma un individuo o comunidad causada por efectos percibidos del cambio climático de manera consciente o inconsciente, sin la acción de agentes externos. Del mismo modo

²⁶ Este tema ya se trata en el Cluster de CEMIEs bio, pero por su relevancia en creemos que debería ser parte de muchos modelos de innovación tecnológica.



que existe este tipo de adaptación, también existe este tipo de innovación. El dicho popular dice “ la necesidad es la madre de la creatividad”. Cuando exista la necesidad de adaptarse y no haya agentes externos que lo faciliten, la gente desarrollará la tecnología que satisface parte de esa necesidad cuando sea posible. En efecto, es común que bajo las condiciones apropiadas, la gente puede crear lo que necesita con lo que tiene disponible, incluyendo conocimientos y materiales, en especial en un país reconocido por el ingenio de su gente



como el nuestro. Cuba es un gran ejemplo de este fenómeno. Durante los años del embargo de estados Unidos que limitaba la tecnología que entraba en el país, la gente empezó a desarrollar toda clase de aparatos con materiales reciclados para consumo propio o para su venta. Por ejemplo el repuesto de aspas de ventilador hecho con un disco LP, o el encendedor de cocina mostrado en la imagen. Se desarrolló también una amplia gama de máquinas para reciclar plásticos para construir todo tipo de objetos, y máquinas tipo bicicleta para centenas de aplicaciones (Oroza, 2017). Sin una formación directa o con poca, algunos aprendieron a realizar toda clase de trabajos electricos, electronicos y mecanicos para reparar y resignificar a conveniencia. Hay un movimiento similar en India que se conoce

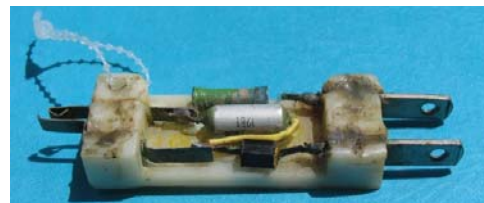
como el *Arte de la Frugalidad*. Este movimiento ha llamado la atención de distintos organismo de innovación, como el grupo de investigación Danés Frugal Digital que busca, apoya y difunde este tipo de tecnologías (By Arion McNicoll, for CNN, 2013; Giménez,



Pastor Pérez, & Malacara Hernández, 2017; Niño, 2014; Radjou, 2018; Technology Executive Committee, 2015) y hasta el gobierno francés que lo reconoce como una valiosa fuente de soluciones tecnológicas para los menos atendidos (Giménez, Pastor Pérez, et al., 2017; Niño, 2014; Radjou, 2018; Technology Executive Committee, 2015). Estas tecnologías, además de tener poder tener un importante impacto social, generalmente son de bajo impacto ecológico ya que la mayoría no

usa combustible y están hechas de materiales reciclados como la bomba eólica que se muestra en la imagen. Estos ejemplos, han inspirado un movimiento internacional conocido como desobediencia tecnológica que se presenta como un acto de resistencia frente al consumismo y la pretensión de evaluar la calidad de vida en relación con la cantidad de tecnología de punta.

Por supuesto este no es el caso ideal. No se puede ignorar la necesidad de desarrollar e implementar una tecnología bajo la premisa de que



la gente será capaz de crearla por si sola. Y los casos de la India y Cuba están lejos de ser un ejemplo de construcción social a perseguir. Pero en muchos casos, la falta de capacidad del gobierno, la omnipotencia y constante evolución de los efectos del cambio climático, y otros factores difíciles de evitar, se traducirán en que este tipo de innovación gane terreno sobre la innovación anticipativa y planeada. Aún en esos casos, se pueden implementar estrategias para que este tipo de innovación contribuya a un esquema a gran escala de adaptación. Por ejemplo: redes de difusión de tecnología, manuales de acceso abierto, centros de



investigación que ayuden a mejorar y difundir, centros regionales de creación (espacios de acceso libre con herramientas y otros medios para construir e innovar), etc. En India, existe una ONG y red llamada [Honey Bee](#) que junta tecnologías de este tipo y apoya y conecta a sus creadores. En Cuba, el gobierno distribuyó unos libros llamados *El libro de la Familia*, y *Con nuestros propios esfuerzos* con una serie de instructivos para fabricar o reparar objetos necesarios. Sería factible pensar en una serie de publicaciones

similares que informen a la población sobre los efectos del cambio climático y expliquen algunas estrategias para enfrentarlo de manera independiente empoderando a la población.

Muchas de estas innovaciones son producidas e implementadas dentro del hogar o el área de trabajo, por lo que no atraviesan mecanismos fáciles de medir, como la compra venta. Y de las empresas que se formen a raíz de la innovación autónoma se puede esperar que muchas se encuentren en condiciones de informalidad. Por lo tanto, sería difícil encontrar indicadores que permitan medir este tipo de innovación y sería necesario diseñar mecanismos específicos para lograrlo. Por ejemplo agregar una sección de cambio climático a alguna de las encuestas que realiza el INEGI o diseñar y ejecutar una encuesta específica en materia de adaptación en contextos rurales. Conforme se concrete una estrategia para apoyar este tipo de innovación, se pueden gestar estos mecanismos en trabajos futuros.

Innovar como herramienta de adaptación

En un caso general, la innovación no permite adaptación sino la tecnología implementada resultado de la innovación. Pero hay distintos factores que se traducen en que el hecho de innovar en si mismo ayude a la población mexicana a enfrentar al cambio climático. Como se ha mencionado en distintas ocasiones, una de las principales fuentes de la vulnerabilidad es la pobreza. Si la innovación contribuye al crecimiento de la economía, por lo tanto podemos afirmar que bajo ciertas condiciones contribuye también a disminuir la vulnerabilidad. En efecto, “hay evidencia de que las diferencias en innovación contribuyen a las disparidades en el crecimiento de los estados mexicanos.” (Giménez, Pastor Pérez, et al., 2017; Niño, 2014; Technology Executive Committee, 2015) y como se ha visto antes, hay una estrecha relación entre los estados con menos crecimiento y aquellos más vulnerables (ver Tabla 9). En este mismo sentido cabe destacar que existe un importante potencial económico en desarrollar y

exportar tecnología para lidiar con distintos efectos del cambio climático. Esta podría ser un área de liderazgo tecnológico para México, con especial enfoque a América Latina.

Por lo tanto, un ecosistema descentralizado que desarrolle tecnología que se traduzca en una nueva industria y una importante fuente de empleo es por si mismo una estrategia de adaptación. En este caso, existe una oportunidad clara, donde se sabe que va a surgir una necesidad generalizada y hay cierto tiempo para construir un sector capacitado para satisfacer esa necesidad generando trabajo.

Diferentes actores diferentes papeles

“La investigación sobre cambio climático es relativamente nueva en nuestro país, por lo que la generación de conocimiento respecto a este tema es sumamente significativa y requiere de una dedicación continua por parte de los tres órdenes de gobierno, las instituciones académicas como universidades, las redes de investigación, el sector productivo y la sociedad en general“ (SEMARNAT & INECC, 2013). En efecto, el desarrollo e implementación de tecnologías que permitan hacerle frente a los retos nacionales de adaptación requiere de la participación y articulación de muchos actores.

A continuación se describirá el papel de cada uno de los actores y los retos principales que podrían enfrentar para contribuir a la innovación en tecnologías para la adaptación.

Las universidades, la academia y los centros de investigación

Como se menciona en el capítulo sobre la innovación, en México en 2017, de las 10 instituciones que más patentes internacionales registraron 4 son universidades o centros de investigación, y la UNAM es la que encabeza esta lista (WIPO, 2019). Al ser los principales núcleos de creación de conocimiento científico y tecnológico, la academia es responsable de alimentar a todos los demás sectores con las bases científicas y tecnológicas y elementos de las ciencias sociales para permitir el desarrollo e implementación de tecnología que permita la adaptación efectiva de la población y los ecosistemas (Office of South South Cooperation, 2018). A través de los medios de comunicación y cooperación, como las publicaciones científicas, las patentes y los proyectos en conjunto, la academia puede apoyar a instituciones involucradas en procesos de innovación. Por ejemplo otras instituciones académicas, el sector privado y los centros de desarrollo gubernamentales. De este modo, la academia puede incidir en el desarrollo de tecnología de todos niveles, desde apoyar el desarrollo de tecnología de punta en una empresa privada de gran capital, hasta trabajar con un gobierno local para optimizar técnicas agrícolas.

A través de la divulgación científica, la asesoría, y los proyectos de acercamiento directo como el servicio social, la academia puede incidir directamente en la sociedad para el desarrollo e implementación de tecnologías de adaptación principalmente de niveles medio y bajo. Un ejemplo son los programas de servicio social que hay en la Facultad de Ingeniería de la UNAM y otras facultades de trabajo en comunidades que instalan distintos tipos de tecnología para luchar contra la deficiencia de servicios públicos como electricidad y agua. También se pueden mencionar los manuales publicados por el Instituto de Energías Renovables para construir distintos tipos de tecnologías para aprovechar energías renovables. La academia no solo tiene un papel de creación de conocimiento, sino también tiene la capacidad en muchos casos de implementar ese conocimiento y colaborar con diferentes actores para enriquecerlo y así incidir directamente en la población. Además, la mayoría de las instituciones académicas, y la matriculación en educación superior en México se encuentra en instituciones públicas gratuitas, lo podría convertir el potencial de incidir directamente en la población en un imperativo.

Además la producción directa o indirecta de tecnología de la academia, quizás su más importante producción es el capital humano. Cada año crece la fuerza laboral calificada

mexicana, que representa el sector de la población con más herramientas para transformar la realidad del país. Como dice Giménez et al. “capital humano- cantidad y calidad- es el factor más importante a la hora de explicar el éxito innovador” (Giménez, del Pilar Pastor Pérez, & Malacara Hernández, 2017). Nuevamente, al ser producto principalmente de recursos públicos, es un imperativo que los universitarios tengan los conocimientos y la responsabilidad de enfrentar los retos sociales más importantes actuales y futuros. Como se ha demostrado en esta tesis, el país enfrentará fenómenos cada vez más intensos que podrían tener un impacto devastador en la calidad de vida de los mexicanos y su territorio. Por lo tanto, es necesario que la formación de profesionistas de todas las áreas altamente calificados y sensibilizados para contribuir con el combate climático que permita reducir las pérdidas del país. Para los profesionistas no especializados en combate climático, también consideramos que el tema debe ser parte de su formación para que puedan incidir directamente desde su área o transformar sus hábitos en la vida privada o su desarrollo profesional para que no contribuyan a incrementar estos impactos. Muchos de los elementos de esta sección se apoyaron en un documento enfocado a recomendar acciones para la adaptación a universidades estadounidenses, que entre otras concluye “las universidades no se han enfocado lo suficiente a adaptación” (Dyer & Andrews, 2017).

En el caso específico de la formación ingenieril, que son quienes tienen la mayor capacidad de producir innovación tecnológica, este tema toma especial relevancia. Por un lado, consideramos que distintos elementos del combate climático, como la sustentabilidad, la eficiencia energética y conocimiento de los impactos del cambio climático, deben formar parte nuclear de su formación, sin importar el tipo de ingeniería ni la especialización. Al ser la profesión responsable de diseñar y materializar los objetos y procesos que transforman los recursos, como la energía, el agua y otras materias primas, es necesario que tengan la capacidad de hacerlo de manera responsable con el medio ambiente y la población actual y futura. Por el otro lado, para enfrentar los retos tecnológicos de la adaptación, no solo se necesita una importante masa crítica de ingenieros de todas las áreas que esté altamente calificada en su área de especialización con un enfoque hacia el desarrollo, adecuación y optimización de tecnologías para la adaptación. Pero también es importante que tenga una serie de capacidades que actualmente son menos comunes en la formación ingenieril pero son vitales para poder implementar acciones de adaptación apropiadas, como el enfoque a problemáticas, la transdisciplina, el enfoque social entre otros que se detallan en la sección de elementos de la innovación.

Como se reconoce la capacidad de innovar de toda la población, el concepto de la educación como herramienta para potenciar la innovación se puede extender a todos los niveles de formación. Una formación básica que sensibilice a los jóvenes sobre retos de adaptación, cambio climático y cuidado ambiental, también ayuda a formar ciudadanos que eventualmente podrían desarrollar tecnología con impacto.

Gobierno

En materia de adaptación el gobierno toma un papel central, ya que la mayoría de las acciones de adaptación son para velar por la salud pública y el bienestar enfrentando

fenómenos que afectan del mismo modo a la sociedad y al sector privado. Contrariamente a la mitigación, donde mucha de la iniciativa puede venir del sector privado que encuentra potencial económico en la implementación de tecnologías de bajo carbono, la adaptación raramente se puede justificar con beneficio económico para una sola institución. Al contrario, las acciones de adaptación generalmente tienen un impacto a gran escala que contribuye a disminuir las pérdidas de población civil y sector privado. Por esta razón, muchos autores recalcan que para enfrentar las consecuencias del cambio climático, es necesario un estado grande y fuerte que pueda financiar y promover importantes acciones de adaptación que contribuyan a mantener una economía sana y un estado de bienestar.

Con este potencial y responsabilidad, el gobierno debe ser el principal promotor, financiador, y articulador de la innovación en adaptación. En efecto, en el proyecto de adaptación más grande del que tenemos conocimiento, el gobierno mexicano a través principalmente de la CONAGUA, contribuyó con cerca del 80% de los recursos (Mundial, 2018). El INECC, como el órgano público que concentra la mayor cantidad de conocimiento en la materia, generalmente es quien articula a los diferentes actores involucrados en los proyectos gubernamentales relacionados y participa, supervisa o lidera la ejecución del proyecto. Los recursos se canalizan desde otros organismos, como las Secretarías o el CONACyT, o de fondos enfocados como el Fondo para el Cambio Climático. Como parte de una estrategia de innovación nacional también podrían participar o crearse fondos especializados con un origen más cercano a la política pública de innovación.

Organismos internacionales

El ambiente de cooperación internacional forjado gracias a las COP, implica un papel fundamental de los organismos internacionales y los gobiernos externos en la adaptación en los países en desarrollo como México, en particular en el desarrollo e implementación de tecnología. Como se menciona en la sección de transferencia de tecnología, no todas las tecnologías para la adaptación se van a desarrollar en México. Por lo tanto, con el apoyo de distintos organismos internacionales, México puede acceder a innovación tecnológica sin producirla. En esos casos, será responsabilidad de instituciones y individuos mexicanos adaptar esa tecnología al contexto nacional. También bajo distintos esquemas de cooperación internacional México puede trabajar en conjunto con instituciones públicas o privadas extranjeras para desarrollar tecnología. Por ejemplo, con proyectos académicos conjuntos que como se vió en el estudio cuantitativo de la investigación en adaptación, aproximadamente la mitad de la investigación en la materia se hace en conjunto con investigadores que residen en el extranjero y una parte se financia también por instituciones extranjeras. El financiamiento y la asesoría es quizás el papel más importante de instituciones internacionales en la innovación en tecnologías para la adaptación. Por ejemplo en el proyecto de los humedales costeros en el golfo de México, el Banco Mundial fué el segundo financiador después del gobierno mexicano

Sector privado

El sector privado es el principal desarrollador de la tecnología necesaria para proteger las operaciones industriales y comerciales. Cada empresa puede producir e implementar las estrategias necesarias o comprarlas de otra institución, ya sea como productos o como servicios de consultoría u otros. Al crecer el mercado de algunas necesidades de la población y surgir nuevas, se incrementa la producción de nueva tecnología desde el sector privado nacional y/o internacional. El gobierno y las instituciones internacionales, pueden ser una importante fuente de financiamiento para apoyar la innovación del sector privado, en particular la que permita de adaptación de la población y la resiliencia de la economía nacional.

Población

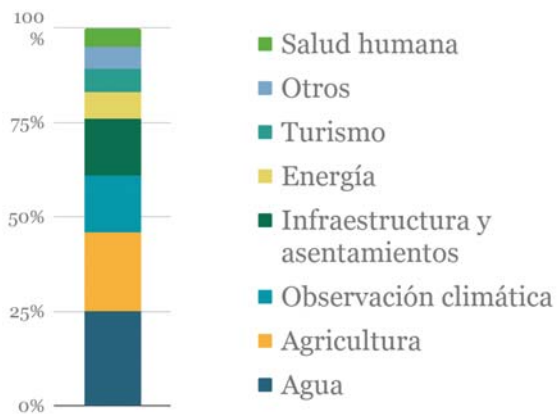
La innovación en tecnologías para la adaptación generada por la sociedad se localiza principalmente en contextos rurales en el marco de la adaptación autónoma. En muchos casos se puede llevar a cabo de manera independiente de los demás actores, pero se puede beneficiar ampliamente de la participación del gobierno, los organismos internacionales y la sociedad civil organizada para financiar y difundir conocimientos que faciliten la innovación. La academia puede aportar ampliamente con la optimización de estas tecnologías aunque sean de bajo nivel y de autoconstrucción. Por ejemplo, las estufas ahorradoras requieren pocos conocimientos para construirse pero en la academia se podría realizar investigación científica de alto nivel para desarrollar una serie de indicaciones que aumenten su eficiencia, por ejemplo la composición de la mezcla y distintos elementos de la geometría.

Sectores prioritarios

Una de las prioridades de el desarrollo de las Evaluaciones de Necesidades Tecnológicas es determinar los sectores prioritarios para la transferencia y desarrollo de tecnología. El TEC propone relacionar la vulnerabilidad de la población y los sectores clave para entender cuáles medidas podrían tener un mayor impacto en la adaptación de la población. También considera los objetivos de desarrollo nacionales y sus fortalezas tecnológicas y científicas. México no ha priorizado sus necesidades tecnológicas y realizar este análisis estaba fuera del alcance de esta tesis. Pero analizando los documentos publicados por otros países de la región podemos encontrar algunos elementos que nos permitan entender los sectores prioritarios para el desarrollo de tecnologías para la adaptación..

Como se puede observar en la Figura 16, en América Latina los dos sectores más priorizados son el agua y la agricultura. Como reveló el análisis de la vulnerabilidad en México, estos dos sectores también son de alta prioridad para el país. México tiene grandes reservas de agua pero no están repartidas equitativamente. Las ciudades, en especial la Ciudad de México enfrentan fuertes retos de abastecimiento y existe una necesidad generalizada de mejorar los sistemas de tratamiento de aguas residuales. Un gran porcentaje de los recursos hídricos están contaminados y/o sobre explotados. Y se proyecta un aumento en las sequías en especial en el norte del país que ya enfrenta importantes conflictos por el agua. Además, asegurar el abasto de agua potable y la preservación de las reservas de agua

impacta en todos los sectores, posicionándose como una necesidad altamente transversal y generalizada. El análisis de vulnerabilidad, también reveló importantes retos en materia de agricultura. La población es altamente dependiente de la importación de alimentos y se proyecta una fuerte disminución de las cosechas de maíz y trigo. Además existe una falta de capacidad tecnológica en la agricultura. En efecto, la innovación agrícola frente a cambio climático es la clave para evitar un incremento exponencial del éxodo rural (Burton, Malone, & Huq, 2005) y asegurar la seguridad alimentaria. Es importante mencionar que América Latina es la región que priorizó en menor medida las nuevas variedades de semillas (UNFCCC, 2013), por lo que podríamos asumir que no debería ser tampoco una estrategia prioritaria en México, y más bien enfocarse a otras tecnologías como la agroecología. Otros de los sectores priorizados en otros países de la región que podrían ser priorizados en México



son la observación climática por la alta exposición a los fenómenos hidrometeorológicos extremos, la energía al ser un país que construyó gran parte de su economía con la extracción de energéticos y el turismo, ya que en 2018 se recibieron cerca de 42 millones de turistas.

Figura 16 | Priorización de sectores de implementación y desarrollo de tecnologías para la adaptación en América Latina
Fuente: (UNFCCC, 2013)

Ficha 6 | Participación de los actores en los tipos de innovación en adaptación

	Innovación para adaptación pública	Innovación para adaptación privada		Innovación para adaptación autónoma
		Propia	Distribución	
	Proyectos a gran escala en el espacio público para la adaptación de zonas, infraestructura, poblaciones y ecosistemas	Aumentar la resiliencia de su propia infraestructura y operación	Permitir la adaptación de la población u otros actores a través de la venta de productos o servicios	Adaptarse en el contexto del hogar o el trabajo por medio de tecnología desarrollada de manera independiente
Gobierno	Contribuir con la mayoría del financiamiento, operatividad e iniciativa; desarrollo tecnológico	Financiar y promover a través de fondos específicos	Financiar y promover a través de fondos específicos y facilitar la difusión	Apoyar con financiamiento y divulgación de técnicas y tecnologías
Sector privado	Desarrollar productos y servicios especializados		Financiar, desarrollar y difundir o implementar	Poca participación a excepción de venta de materia prima
Academia	Apoyar con el desarrollo de tecnología y servicios especializados		Apoyar con el desarrollo de tecnología a través de proyectos en conjunto; transferencia de tecnología; formación de capital humano; financiar, desarrollar y difundir tecnología a través de spinoffs	Eficientar, desarrollar y difundir técnicas y tecnologías de bajo nivel a través de proyectos de acercamiento social e instructivos
Población	Adoptar las medidas necesarias y retroalimentar para mejorar la tecnología	Poca participación	Retroalimentar, financiamiento indirecto y posibilidad de emprender	Desarrollar, financiar y difundir la tecnología
Actores internacionales	Financiar, transferir tecnología, desarrollar tecnología en conjunto			Transferir y difundir conocimientos y tecnología
Sociedad civil	Desarrollar y financiar tecnologías para protección ambiental y de grupos vulnerables		-	Desarrollo y transferencia de tecnología, mediación y facilitación de desarrollo de tecnología

Resumen

Se distinguieron tres tipos de innovación: la innovación pública que busca la protección de la población y el territorio; la innovación privada donde las empresas son el actor principal que busca aumentar la resistencia de su propia operación o también satisfacer el nuevo mercado de necesidades de adaptación; y la innovación autónoma que se refiere al desarrollo de tecnología llevada a cabo por el usuario motivado por su propia necesidad. La transdisciplina y la retroalimentación continua se consideran elementos fundamentales para el proceso de los tres tipos de innovación para considerar la mayor cantidad de efectos potenciales de cada acción a distintas escalas. En todos estos tipos de innovación intervienen los 6 actores mencionados con distintos niveles de participación, lo que destaca la imperante necesidad de coordinación entre ellos. En el marco jurídico e institucional actual, no existe un mecanismo específico que fomente esta coordinación ni impulse la innovación en tecnologías para la adaptación con el nivel de prioridad que consideramos necesario, pero sí existen elementos desde los cuales se podrían construir tales mecanismos.

Se destacó la importancia del gobierno para financiar y articular la innovación con mucho apoyo de los fondos y organismos internacionales ya que se trata principalmente de una cuestión de salud pública, protección del patrimonio mexicano y seguridad nacional. La academia tiene la responsabilidad de proveer conocimiento y tecnología a los organismos del sector público, privado y a la sociedad. Además, tiene la capacidad de implementar directamente esos conocimientos en proyectos de acercamiento social y distintos mecanismos de colaboración como los proyectos en conjunto, la asesoría y las spin offs. También cumple la función generar capital humano que incorpore a la práctica y la formación de innovadores un refuerzo de la transdisciplinariedad y una valorización de las ciencias sociales.

Se planteó la innovación en tecnologías para la adaptación como una medida de adaptación por sí misma ya que puede crear y fortalecer una industria descentralizada de distintos tamaños ofreciendo una fuente de empleo y derrama económica preparándose para satisfacer un mercado potencial nacional y regional de gran tamaño. En este sentido, existe una gran oportunidad de cooperación en América Latina y el Caribe ya que comparte muchos de los mismos retos en materia de adaptación.

La transferencia de tecnología desde los países más desarrollados es uno de los elementos pactados en el ámbito de la cooperación internacional, el cual México considera en sus NDCs condicionados. Mientras que se reconoce su capacidad para potenciar la innovación y la adaptación en México, también se propuso el concepto de seguridad tecnológica que se refiere a los peligros de depender de tecnología externa para enfrentar las problemáticas asociadas al cambio climático.

Se deja a trabajos futuros el concretar una estrategia de innovación en tecnologías para la adaptación que integre estos tres tipos de innovación y articule a sus actores para potenciar la capacidad nacional de producir las soluciones tecnológicas que aseguren el bienestar actual y futuro de la población mexicana en un contexto de cambio climático.

Bibliografía

- Burton, I., Malone, E., & Huq, S. (2005). *Marco de Políticas de Adaptación al Cambio Climático*. (B. Lim & E. Spanger-Siegfried, Eds.). PNUD.
- By Arion McNicoll, for CNN. (2013, junio 25). India's amazing world of frugal innovation - CNN. Recuperado el 30 de marzo de 2019, de <https://www.cnn.com/2013/06/25/tech/innovation/frugal-innovation-india-inventors/index.html>
- de Almeida, P. S. A., & Freyermuth, A. T. (2018). El Laboratorio Nacional de Resiliencia Costera. *Gaceta Instituto de Ingeniería, UNAM, 1*(131), 13–16.
- Dyer, G., & Andrews, J. (2017). *Higher Education's Role in Adapting to a Changing Climate*. Second Nature; Cool Air. Recuperado de https://secondnature.org/wp-content/uploads/Higher_Education_Role_Adapting_Changing_Climate.pdf
- Giménez, G., del Pilar Pastor Pérez, M., & Malacara Hernández, H. M. (2017). Factores de innovación en los estados de México. ¿A qué se deben las diferencias entre estados con mayor y menor dinamismo innovador? *Investigación Económica, 76*(302), 131–164.
- Giménez, G., Pastor Pérez, M. del P., & Malacara Hernández, H. M. (2017). Factores de innovación en los estados de México. ¿A qué se deben las diferencias entre estados con mayor y menor dinamismo innovador? *Investigación económica / Escuela Nacional de Economía, Universidad Nacional Autónoma de México, 76*(302), 131–164.
- Gobierno de la República, & CONACyT. (2014). *Programa Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación*. Recuperado de <http://www.sicyt.gob.mx/index.php/normatividad/nacional/631-3-programa-especial-de-ciencia-tecnologia-e-innovacion-2014-2018/file>
- INECC. (2018). Sistema Nacional de Cambio Climático (SINACC). Recuperado el 30 de marzo de 2019, de <https://www.gob.mx/inecc/acciones-y-programas/sistema-nacional-de-cambio-climatico-sinacc>
- Ingwesen, W. W., Garmestani, A. S., Gonzalez, M. A., & Templeton, J. J. (2013). A systems perspective on responses to climate change. *U.S. Environmental Protection Agency Publications*. Recuperado de <https://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1196&context=usepapapers>
- Islas, J., Manzini, F., Macías, P., & Grande, G. (2015). *Hacia un sistema energético mexicano bajo en carbono*.
- Lawhead, J. (2014). Lightning in a Bottle: Complexity, Chaos, and Computation in Climate Science. Recuperado de <https://philpapers.org/archive/LAWLIA.pdf>
- Ley de Ciencia y Tecnología (2015). Recuperado de http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/242_081215.pdf
- Ley General de Cambio Climático (13 de abril 2018). Recuperado de http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGCC_130718.pdf
- Micale, V., Tonkonogy, B., & Mazza, F. (2018). *Understanding and Increasing Finance for Climate Adaptation in Developing Countries*. Climate Policy Initiative. Recuperado de https://www.international-climate-initiative.com/fileadmin/Dokumente/2019/20190225_Understanding-and-Increasing-Finance-for-Climate-Adaptation-in-Developing-Countries.pdf
- Mundial, B. (2018). Promover la adaptación en México: protegiendo a las comunidades ante el impacto del cambio climático. Recuperado el 1 de abril de 2019, de <http://www.bancomundial.org/es/results/2018/07/25/promover-la-adaptacion-en-mexico>

- Niño, G. (2014). *Retos y perspectivas del financiamiento climático en México*. Presentado en Comisión de Medio Ambiente, Senado de la República. Recuperado de http://www.senado.gob.mx/comisiones/cambio_climatico/reu/docs/CEMDA.pdf
- Office of South South Cooperation. (2018). *Potential of South-South and triangular cooperation*. UNFCCC . Recuperado de http://unfccc.int/ttclear/misc_/StaticFiles/gnwoerk_static/brief9/7a74a2f17f204b6ba17f1ec965da70d7/f4e361cd56d4463a8daa4ab29a1254db.pdf
- Oroza, E. (2017). *Desobediencia Tecnológica* Archivo. Recuperado el 30 de marzo de 2019, de <http://www.technologicaldisobedience.com/es/>
- Radjou, N. (2018). How France and India can unleash the power of frugal innovation. Recuperado el 30 de marzo de 2019, de <https://www.weforum.org/agenda/2018/02/from-smart-bins-to-pop-up-toilets-here-are-four-projects-that-show-the-power-of-frugal-innovation/>
- Rowan, E. P. (2008). *Intervening In Complexity: A developmental theory of climate change* (Degree of Bachelor of Arts). Wesleyan University. Recuperado de <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.484.3697&rep=rep1&type=pdf>
- Semarnat, I. (2015). *Elementos mínimos para la elaboración de los Programas de Cambio Climático de las Entidades Federativas*. Recuperado de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/46558/Elementos_m_nimos_para_la_elaboracion_de_Programas_de_Cambio_Clim_tico_de_las_Entidades_Federativas.pdf
- SEMARNAT, & INECC. (2013). *Estrategia Nacional de Cambio Climático*. Gobierno de la República. Recuperado de <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/41978/Estrategia-Nacional-Cambio-Climatico-2013.pdf>
- Sun, J., & Yang, K. (2016). The Wicked Problem of Climate Change: A New Approach Based on Social Mess and Fragmentation. *School of Government, Peking University*. Recuperado de <https://pdfs.semanticscholar.org/089a/6f242d657a52a7b65caf521460ea78150fbd.pdf>
- TEC, & CTCN. (2018). *Joint annual report of the Technology Executive Committee and the Climate Technology Centre and Network for 2018*. UNFCCC. Recuperado de https://unfccc.int/sites/default/files/resource/SB_2018_2.pdf
- Technology Executive Committee. (2015). *Enhancing Access to Climate Technology Financing*. UNFCCC. Recuperado de https://unfccc.int/ttclear/misc_/StaticFiles/gnwoerk_static/TEC_documents/204f400573e647299c1a7971feec7ace/ea65db0ca9264cdbaefeb272dd30b34c.pdf
- Timmermans, W., López, F. Ó., & Roggema, R. (2012). Complexity Theory, Spatial Planning and Adaptation to Climate Change. *Advances in Global Change Research*. https://doi.org/10.1007/978-94-007-4378-6_3
- Toche, N. (2019, febrero 12). Un retroceso, la propuesta de ley sobre ciencia: académicos. Recuperado el 26 de marzo de 2019, de <https://www.economista.com.mx/arteseideas/Un-retroceso-la-propuesta-de-ley-sobre-ciencia-academicos-20190212-0161.html>
- TTClear. (2018). TEC Overview. Recuperado el 1 de abril de 2019, de <http://unfccc.int/ttclear/tec>
- UNFCCC. (2013). *Third synthesis report on technology needs identified by Parties not included in Annex I to the Convention*. Subsidiary Body for Scientific and Technological Advice . Recuperado de <https://unfccc.int/resource/docs/2013/sbsta/eng/inf07.pdf>
- UNFCCC. (2017). *South-South Cooperation Crucial for Global Goals and Climate Action*.

Recuperado de
<https://unfccc.int/news/south-south-cooperation-crucial-for-global-goals-and-climate-action>
WIPO. (2019). Statistical Country Profiles. Recuperado el 28 de marzo de 2019, de
https://www.wipo.int/ipstats/en/statistics/country_profile/profile.jsp?code=MX

Conclusión

No es común poder prever con antelación una problemática del tamaño que implica el cambio climático para el planeta. Los efectos del cambio climático ya se están percibiendo y ya están causando pérdidas a nivel global. La tendencia de aumento de estos efectos es clara en muchos sistemas y conocemos la manera en la que pueden afectar a la población y el territorio. Algunas de las estrategias para reducir estos riesgos ya se conocen, otras aún se necesitan desarrollar y la mayoría se deben eficientar y acondicionar a cada contexto. Es necesario que se fomente con vehemencia el desarrollo de estas tecnologías para enfrentarse a esta problemática prevista. Esto implica construir un marco robusto que articule, financie y dirija a los distintos actores desde el gobierno federal y los otros dos niveles de gobierno. Que se construya una nueva industria capaz de concebir los productos y servicios que permitan la protección de la población, la infraestructura y el territorio. Una academia enfocada en temas de alto impacto nacional capaz de trabajar estrechamente con los demás actores para asegurar que el conocimiento que genera se traduzca en bienestar y preservación natural, y con la capacidad de preparar nuevas generaciones de profesionistas conscientes de las problemáticas futuras y con un amplio rango de herramientas para enfrentarlas. Distintos organismos internacionales, instituciones extranjeras y asociaciones civiles tienen la capacidad y voluntad de apoyar en estos procesos con tecnología, conocimientos, guía y financiamiento. Este fomento y la participación de todos estos actores es necesaria para las tecnologías de alto nivel pero también para las de bajo nivel que formen parte de la adaptación autónoma en comunidades. Para que la estrategia sea efectiva se tiene que considerar el espectro completo de la adaptación por medios tecnológicos.

Quizá una de las preguntas más relevantes que falta por hacerse es ¿Cuándo es necesario empezar a impulsar este tipo de innovación? Pero para mí la respuesta es sencilla. La necesidad de distintos tipos de tecnologías para la adaptación ya está presente y se puede esperar que aumente continuamente. Considerando que la tecnología toma tiempo en desarrollarse y madurar, en especial cuando se deben tomar en cuenta tantas dimensiones, mientras más temprano se empiece más pronto se van a disponer de las tecnologías necesarias. Esto, por supuesto, implica la oportunidad de liderar áreas tecnológicas contribuyendo a la creación de trabajos que al luchar contra la pobreza reducen la vulnerabilidad. Además, incrementa la seguridad tecnológica lo cual puede ser fundamental en el caso de que los países de los que generalmente importamos tecnología no necesiten la misma que nosotros, o la compartan a un costo que pueda implicar compromisos presupuestarios peligrosos. Independientemente de estos factores, la mayoría de las medidas de adaptación se traducen en acciones que son necesarias hoy en día y que el cambio climático va a intensificar considerablemente. No deberíamos esperar para incrementar la cobertura de servicios básicos, sustentabilizar la agricultura, proteger y recuperar ecosistemas o cualquier otra medida que reduzca la vulnerabilidad de la población y nuestra naturaleza.

Potenciar la innovación en tecnologías para la adaptación debe ser una prioridad para asegurar el bienestar actual y futuro de la población en un contexto de cambio climático. De cuándo implementemos una estrategia que asegure el desarrollo de estas tecnologías en México depende si logramos evitar grandes pérdidas de manera justa y digna o nos sometemos a ellas.

Los límites de la innovación en adaptación

Mi generación y otras contemporáneas que nos precedieron, hemos vivido un desarrollo tecnológico descomunal. Recordamos cómo en menos de 20 años los teléfonos celulares pasaron de ser robustos aparatos para llamar, a una parte de nosotros con capacidades impensables hace algunos años. Vimos cómo aterrizó una sonda en un asteroide y un cohete vertical en un barco/drone sobre el mar. Este avance tecnológico acelerado y generalizado ha construido una confianza casi ciega en la capacidad de la tecnología que se suma al misticismo ancestral de aquellos científicos e ingenieros capaces de hacerla. Sabemos cómo la tecnología puede evolucionar rápidamente, solo podemos imaginar que en el futuro sea capaz de todo, en particular de solucionar de maneras impensables los problemas que hoy se sienten colosales. Frente a la alarmante noticia del peligro que enfrentan las abejas y cómo nuestros destinos están entrelazados, surge el reconfortante encabezado de nuevos microdrones capaces de reemplazar a los polinizadores. Gracias a la tecnología cada vez más de nuestros problemas de la vida diaria se pueden enfrentar con menos esfuerzo, en muchos casos sin levantar más que un dedo o dos, como conseguir comida o relacionarnos. Frente al cambio climático puede ser fácil pensar que eventualmente alguien desarrollará la fuente de energía renovable barata y accesible que nos permita mantener nuestro modelo de vida antes de que cambie dramáticamente, o la tecnología de extracción de carbono que nos permita seguir contaminando o revertir la problemática cuando ya parezca demasiado tarde.

Es necesario que en el tema de adaptación no se construyan este tipo de creencias. Pensar que, aun si no hacemos lo necesario para luchar contra el cambio climático, la innovación en tecnologías para la adaptación nos va a permitir evitar fuertes pérdidas sin mucho esfuerzo individual y colectivo, es muy peligroso. Aunque sin duda la tecnología puede jugar un papel crucial y pueden haber saltos radicales en el desarrollo tecnológico, los mayores retos son sociales y políticos. La tecnología por sí misma no va a evitar que el planeta se caliente ni que ese calentamiento altere irreparablemente todos los ámbitos de la vida en la tierra, pero puede ser que nuestras acciones sí.

Adaptación y resignación Comentario personal

En distintas conversaciones que he tenido con motivo de mi tesis, mis interlocutores me han comunicado que sienten que mi decisión de escoger formarme en adaptación en vez de en mitigación implica que me estoy resignando a que no se van a poder cumplir los Objetivos de París y que mi participación sería irrelevante en ello. Pero para mí, formarme en adaptación representa un sentimiento diametralmente opuesto a la resignación.

Antes de los 12 años, yo ya había escuchado mucho sobre cambio climático y gracias a *El día después de mañana* y *Una verdad incómoda*, me pude construir una idea de cómo se podría ver el futuro. De ahí en adelante mi percepción no se volvió más optimista. He estado expuesto a cada vez más noticias sobre efectos del cambio climático en zonas lejanas y empecé a percibir algunos yo mismo. Un sentimiento de angustia característico de mi generación creció en mí y en muchos de mis amigos, cuestionándonos cómo podría ser nuestro futuro y qué podríamos hacer al respecto. Desde muy temprano yo decidí dedicar mi vida a evitar que el futuro se asemejara a aquellos escenarios que me hacían sentir así. En ese camino alterné entre momentos de esperanza y empoderamiento y momentos de absoluta desolación e impotencia. Un punto de inflexión en esa alternancia fue cuando tuve la oportunidad de estar en un evento al frente del combate climático junto con todos aquellos que más herramientas tienen para librar la batalla: la COP 22 en Marruecos. Llegué a la Conferencia lleno de motivación para entender realmente el estado de la contienda y cómo yo podría sumarme. Al final de la primera semana despertamos con la noticia de que Donald Trump era el nuevo presidente de Estados Unidos, el país que más ha contaminado en el mundo y que se había comprometido a jugar un papel determinante en el combate climático global. El trabajo de 25 años de toda la comunidad climática que había culminado en París el año anterior estaba en riesgo. El evento completo se congeló. El ambiente cambió, la gente estaba desolada; yo también. Después de eso pasé cerca de un año en el lado de la curva de la impotencia sintiendo que la mejor opción era aislarme en alguna montaña al abrigo de lo que me podría esperar en el futuro. En la adaptación encontré un nuevo camino donde es posible un escenario alternativo. Si no se cumplen los acuerdos de París, aún hay esperanza, aún tengo algo que hacer. Por supuesto que el mejor escenario es un calentamiento menor a 1.5°C o al menos menor a 2°C. Pero cuánto se calienta el planeta depende de muchos factores y algunos de ellos parecen demasiado fuertes y poderosos, al menos desde mi posición.

Tengo claro que en este camino también encontraré sentimientos de impotencia y me enfrentaré a maquinarias pesadas y con mucha inercia. Pero la adaptación y las páginas de esta tesis para mí no representan resignación; representan esperanza y empoderamiento.

Contenidos

Tablas

Capítulo	Número	Título
Introducción	1	Trabajos de investigación en el área de estudio
1	2	Resumen de organismos, instituciones e instrumentos creados por la LGCC y LTE
	3	Comparación entre Ley, Estrategia y Programa
	4	INDCs de emisión de GEH [MtCO ₂ e]
	5	Definiciones de componentes de la vulnerabilidad
	6	Impactos del cambio climático proyectados en sectores prioritarios de México
	7	Descripción de grado de impacto y nivel de confianza
	8	Distribución de municipios mexicanos por grado de vulnerabilidad
	9	Total de municipios por clase de vulnerabilidad "Muy alta" y "Alta"
	10	Calificación de indicadores de preparación del ND-GAIN
	11	Calificaciones por componente de vulnerabilidad del ND-GAIN
	2	12
13		Tipos de adaptación
14		Principales artículos dentro de los Acuerdos de París sobre Adaptación
3	15	Caracterización de las tecnologías para la adaptación
	16	Categorías de tecnologías para la adaptación en zonas costeras
	17	Categorías de tecnologías para la adaptación del agua
4	18	Investigadores por cada 1,000 integrantes de la PEA por país
	19	Número de empresas del sector productivo que utilizaron mecanismos de financiamiento para realizar actividades de innovación 2013
5	20	Estrategias para cumplir con objetivo de desarrollo
	21	Líneas de acción relativas a la innovación en tecnologías para la adaptación

Figuras

Capítulo	Número	Título
1	1	Organismos del SINACC
	2	Línea del tiempo del marco legislativo e institucional
	3	Emisiones de GEI en México en 2015
	4	Emisiones de GEI del sector energía
	5	Distribución de consumo de electricidad por sector en 2015 [GWh]
	6	Metodología de evaluación de la vulnerabilidad
	7	Escenarios de aumento de temperatura
	8	Metodología del ND-GAIN
2	9	Matriz de acciones de mitigación en el mediano plazo (2020-2050)
	10	Emisiones acumulativas al 2016 por región
	11	Emisiones acumulativas al 2016 de los 35 países que han contribuido con el 90% de las emisiones globales
3	12	Componentes de las tecnologías para la adaptación
	13	Antes y 1.5 años después de instalación de barreras biorock en Palau Ganga
4	14	Desglose del Índice Global de Innovación
5	15	Elementos de innovación en tecnologías para la adaptación en la política pública nacional
	16	Priorización de sectores de implementación y desarrollo de tecnologías para la adaptación en América Latina

Fichas

Capítulo	Número	Título
1	1	Estado Actual del cambio climático
	2	Resumen de funciones y articulación de actores gubernamentales y marco legislativo
	3	Vulnerabilidad en México
2	4	La investigación científica de adaptación climática en México
4	5	Innovación Mexicana frente al Mundo
5	6	Participación de los actores en los tipos de innovación en adaptación

Acrónimos

AbC	Adaptación basada en comunidades
AbRRD	Adaptación basada en la Reducción del Riesgo de Desastres
CC	Cambio climático
CENAPRED	Centro Nacional de Prevención de Desastres
CONACyT	Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología
COP	Conferencia de las Partes
CTI	Ciencia Tecnología e Innovación
FONDEN	Fondo de Desastres Naturales
GEI	Gases de Efecto Invernadero
GII	Índice Global de Innovación
I&D	Investigación y Desarrollo
INECC	Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
IPCC	Panel Intergubernamental de Cambio Climático
LCT	Ley de Ciencia y Tecnología
LDC	Países Menos Desarrollados
ND-GAIN	Índice Global de Adaptación de la Universidad de Notre Dame
OCDE	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos
PCT	Registro de patentes desde México en un gran número de países al mismo tiempo por medio de WIPO
PEA	Población Económicamente Activa
PECiTI	Programa Especial de Ciencia Tecnología e Innovación
PIB	Producto Interno Bruto
PIB PPA	Producto Interno Bruto por poder adquisitivo
PND	Programa Nacional de Desarrollo
RCP	Trayectorias de Concentraciones Representativas
SNI	Sistema Nacional de Investigadores
TA	Tecnologías para la Adaptación
TINA	Evaluación de las Necesidades de Innovación Tecnológica
TNA	Evaluación de Necesidades Tecnológicas
UNFCCC	Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático
WIPO	Organización Internacional de Propiedad Intelectual