

ISSN 1405-5597



**AGENDA ESTRATÉGICA  
DEL TecNM**  
**“AGUA LIMPIA Y  
SANEAMIENTO”**



**Version 3.0**  
INTERNACIONAL





## Directorio

**Prof. Ramón Jiménez López**

Director General del Tecnológico Nacional de México

**Mtro. Jorge Santos Valencia**

Secretario de Planeación, Evaluación y Desarrollo Institucional

### Directores de Campus Participantes

**Dr. José Luis Gil Vázquez**

Director del TecNM Campus Aguascalientes

**Mtra. Estela Rivera López**

Directora del TecNM Campus Boca del Río

**Mtro. José Guillermo Cárdenas López**

Director del TecNM Campus Tijuana

**Mtro. Hugo Ernesto Cuéllar Carreón**

Director del TecNM Campus Toluca

**Mtro. Adrián Martínez Vargas**

Director del TecNM Campus Valle de Etna

**Mtro. José Manuel Dehesa Martínez**

Director del TecNM Campus Villahermosa



## Coordinadores por Eje Temático

**Dr. Mario José Romellón Cerino**

Coordinador del *Eje 1. Captación de agua*  
TecNM Campus Villahermosa

**Dr. José Luis García Rivas**

Coordinador del *Eje 2. Cuidado del Agua*  
TecNM Campus Toluca

**Dra. María del Refugio Castañeda Chávez**

Coordinador del *Eje 3. Métodos de Tratamiento de Agua Potable*  
TecNM Campus Boca del Río

**Dra. Fabiola Lango Reynoso**

Coordinador del *Eje 4. Métodos de Tratamiento de Agua Residual*  
TecNM Campus Boca del Río

**Dra. Mercedes Teresita Oropeza Guzmán**

Coordinador del *Eje 5. Recuperación y Reúso del Agua*  
TecNM Campus Tijuana

**Dra. Virginia Hernández Montoya**

Coordinador del *Eje 6. Monitoreo de la Calidad del Agua*  
TecNM Campus Aguascalientes

**Dr. Heriberto Cruz Martínez**

Coordinador del *Eje 7. Tecnologías emergentes*  
TecNM Campus Valle de Etla

**M.C. Josafat García Servin**

Coordinador del *Eje 8. Educación y Capacitación*  
TecNM Campus Aguascalientes



## Presentación de la Agenda

El Tecnológico Nacional de México (TecNM) está integrado por 254 campus, distribuidos en 32 entidades federativas en la República Mexicana. De los cuáles, 187 planteles imparten alguna asignatura relacionada con el tema del agua dentro del plan de estudios de las carreras de Ing. Ambiental, Ing. Bioquímica, Ing. Civil, Ing. en Acuicultura, Ing. en agronomía, Ing. en Desarrollo comunitario, Ing. en Innovación Agrícola Sustentable, Ing. en Minería, Ing. Forestal, Ing. Hidrológica, Ing. Industrial (en algunos campus), Ing. Química y Lic. en Biología.

En México, el tema del agua es una prioridad, ya que éste se encuentra relacionado directamente con el sexto objetivo del Desarrollo Sostenible "*Garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos*" de la Agenda 2030 de la Organización de las Naciones Unidas (ONU).

Particularmente, en México, uno de los objetivos del Programa Nacional Hídrico (PNH) 2020-2024, es garantizar progresivamente los derechos humanos al agua y al saneamiento, especialmente en la población más vulnerable. Este objetivo del PNH está relacionado con el derecho humano al agua, ya que este vital líquido es indispensable para vivir dignamente y es condición previa para la realización de los otros derechos humanos. En este contexto, el Tecnológico Nacional de México comprometido con el desarrollo sostenible de México, instaló el 15 de marzo de 2023 la **Agenda Estratégica de TecNM Agua Limpia y Saneamiento**, cuyo objetivo general es contribuir de una manera sinérgica con las diversas dependencias federales, estatales y municipales en la gestión sustentable del recurso hídrico, manejo de aguas residuales y cultura del agua, e impulsar mediante propuestas tecnológicas, mejorar la calidad del agua,



reducir la contaminación y fomentar el reúso del vital líquido en diferentes actividades públicas e industriales.

La agenda Estratégica del TecNM Agua limpia y Saneamiento está conformada por los siguientes ejes estratégicos:

- 1) *Captación de agua*
- 2) *Cuidado del agua*
- 3) *Métodos de tratamiento de agua potable*
- 4) *Métodos de tratamiento de aguas residuales*
- 5) *Recuperación y reúso del agua*
- 6) *Monitoreo de la calidad del agua*
- 7) *Tecnologías emergentes.*

Además, contempla un eje transversal denominado *Educación y capacitación.*

El TecNM está convencido que, de la mano de la educación, se puede avanzar en la gestión sostenible y el uso eficiente de los recursos naturales, el agua entre ellos, fomentando que las y los jóvenes, participen efectivamente en la conservación y restablecimiento de los ecosistemas que proveen de este vital líquido.



# Índice

	<b>Página</b>
<b>1. Introducción</b>	7
<b>2. Contexto Institucional</b>	8
2.1 Campus del TecNM con carreras afines al tema del agua.	10
<b>3. Capítulo 1. Agenda Nacional</b>	19
3.1 Descripción de ejes estratégicos, objetivos, metas, acciones e Indicadores	20
3.1.1 Captación de Agua	22
3.1.2 Cuidado del Agua	32
3.1.3 Métodos de tratamiento de agua potable	42
3.1.4 Métodos de tratamiento de aguas residuales	53
3.1.5 Recuperación y reúso del agua	67
3.1.6 Monitoreo de la calidad del agua	79
3.1.7 Tecnologías emergentes	90
3.1.8 Educación y capacitación (Eje transversal)	99
3.2 Resultados Etapa 1	106
3.3 Conclusiones Etapa 1	117
<b>4. Capítulo 2. Agenda Internacional</b>	123
4.1 Contexto mundial de los ejes estratégicos	124
4.2 Descripción de actividades, objetivos, metas, acciones e indicadores de las actividades a realizar con vinculación internacional	148



## 1. Introducción

El 28 de julio de 2010, la Asamblea General de las Naciones Unidas reconoció el derecho humano al agua y al saneamiento. Específicamente, la observación general No. 15 del Comité de Derechos Económicos, Sociales y Culturales de las Naciones Unidas (Comité DESC) señala que el agua es un recurso natural limitado y un bien público fundamental para la vida y la salud. No obstante, de acuerdo con información presentada en la Conferencia de la ONU sobre el Agua 2023, cerca de 2000 millones de personas carecen de agua potable salubre y 3600 millones de personas, prácticamente la mitad de la población mundial, utilizan servicios de saneamiento que no tratan los desechos humanos. En este sentido, México está tomando acciones en pro del desarrollo sostenible y muestra de ello es que en el Programa Nacional Hídrico (PNH) 2020-2024, uno de los objetivos es garantizar progresivamente el derecho humano al agua y al saneamiento. Así mismo, es importante mencionar que el PNH es un programa especial derivado del Plan Nacional de Desarrollo (PND) 2019-2024 y, además, está alineado al Programa de Medio Ambiente y Recursos Naturales (PROMARNAT) 2020-2024.

La Agenda Estratégica del TecNM Agua Limpia y Saneamiento nace como una iniciativa del TecNM para contribuir con el desarrollo sostenible de México, ya que considera que la base del cuidado del vital líquido es la cultura del agua. Esta cultura implica generar en las y los jóvenes una conciencia responsable sobre el uso racional del vital líquido, la importancia del agua para el desarrollo de todo ser vivo, la disponibilidad del recurso en su entorno y las acciones necesarias para obtenerla, distribuirla, desalojarla, limpiarla y reutilizarla.





## 2. Contexto Institucional

El Tecnológico Nacional de México (TecNM) está integrado por 126 Institutos Tecnológicos Federales, 122 Descentralizados, 4 Centros Regionales de Optimización y Desarrollo de Equipo (CRODES´S), 1 Centro Interdisciplinario de Investigación y Docencia en Educación Técnica (CIIDET) y 1 Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico (CENIDET), distribuidos en 32 entidades federativas en la República Mexicana. El TecNM cuenta con Programas de Licenciatura en 8 campos de formación: 02 Artes y humanidades, 03 Ciencias Sociales y derecho, 04 Administración y negocios, 05 Ciencias naturales, matemáticas y estadística, 06 Tecnologías de la información y comunicación, 07 Ingeniería, manufactura y construcción, 08 Agronomía y veterinaria y 10 Servicios.

El TecNM es el sistema de educación tecnológica más grande de Latinoamérica cuya misión, visión y valores se describen a continuación:

**Misión:** Formar integralmente profesionales competitivos de la ciencia, la tecnología y otras áreas de conocimiento, comprometidos con el desarrollo económico, social, cultural y con la sustentabilidad del país.

**Visión:** El TecNM es una Institución de educación superior tecnológica de vanguardia, con reconocimiento internacional por el destacado desempeño de sus egresados y por su capacidad innovadora en la generación y aplicación de conocimientos.

**Valores:** Para el adecuado ejercicio del servicio público del TecNM, se deberá actuar conforme a los principios constitucionales y legales de respeto a los derechos humanos y para ello se aplican valores de honradez,



justicia, amor, legalidad, lealtad, imparcialidad, responsabilidad, eficiencia, eficacia y transparencia.

## **2.1 Campus del TecNM con carreras afines al tema del agua**

En la Tabla 1 se muestran las diferentes asignaturas relacionadas con el tema del agua que se imparten en los campus del TecNM. En general, se puede visualizar que en total son 18 diferentes asignaturas y las temáticas están relacionadas con el manejo y conservación del agua, con los métodos de tratamiento de agua potable, los fundamentos de aguas residuales, hidrología, entre otras. Además, se puede resaltar que las asignaturas son impartidas en las carreras de Ing. Ambiental, Ing. Bioquímica, Ing. Civil, Ing. en Acuicultura, Ing. en Agronomía, Ing. en Desarrollo Comunitario, Ing. en Innovación Agrícola Sustentable, Ing. en Minería, Ing. Forestal, Ing. Hidrológica, Ing. Industrial (solo en algunos campus), Ing. Química y Lic. en Biología. En la Fig. 1 se muestra el número de campus del TecNM que ofrecen las carreras antes mencionadas, en las que se imparten asignaturas relacionadas con el tema del agua. Se puede observar que las carreras que más se ofertan son Ing. Civil, Ing. Ambiental, Ing. en Innovación Agrícola Sustentable e Ing. Química. Adicionalmente, se puede resaltar que las asignaturas que se imparten con mayor frecuencia son la de fundamentos de aguas residuales, abastecimiento de agua potable, hidrología, hidrología superficial, potabilización de agua, sistema de riego presurizado y sistema de riego superficial (Ver Tablas 2-5).

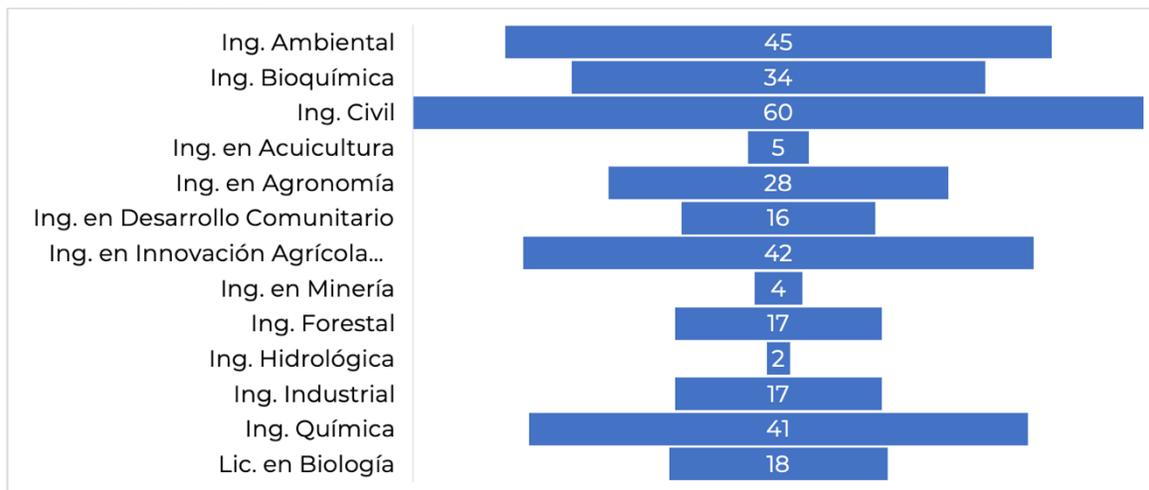
Por otro lado, es importante mencionar que la asignatura de Desarrollo Sustentable se imparte en todas las carreras que se ofertan en los diferentes campus del TecNM y esta asignatura contempla temas relacionados con el agua, tales como la hidrosfera y estrategias de sustentabilidad para el manejo de recursos naturales. También, en carreras



como la de Ingeniería en Industrias Alimentarias se imparten asignaturas como Bioquímica de Alimentos I en las que se imparten temas relacionados con el agua.

**Tabla 1.** Asignaturas relacionadas con el tema del agua que son impartidas en diferentes carreras en algunos campus del TecNM

No.	Materias	Clave	Carrera
1	Abastecimiento de Agua Potable	ICJ-1001	Ing. Civil
		ICJ-1001	Ing. Hidrológica
2	Acuariofilia	AQH-1001	Ing. en Acuicultura
3	Aguas Residuales	AMF-1902	Ing. Química
4	Análisis de Agua y Efluentes	IHM-1002	Ing. Hidrológica
5	Análisis Hidrológico de Sequías e Inundaciones	IHF-1003	Ing. Hidrológica
6	Ecología de Aguas Continentales	ACD-2201	Lic. en Biología
7	Fundamentos de Aguas Residuales	AMG-1012	Ing. Ambiental
		AMG-1012	Ing. Bioquímica
		AMG-1012	Ing. Industrial
8	Hidrología	FOC-1020	Ing. Civil
		FOC-1020	Ing. Forestal
9	Hidrología Superficial	ICC-1020	Ing. Civil
		IHF-1015	Ing. Hidrológica
10	Hidrología Urbana	IHC-1016	Ing. Hidrológica
11	Manejo integral de cuencas hidrográficas	AGF-1014	Ing. en Agronomía
12	Manejo y Conservación del Agua	AQD-1021	Ing. en Acuicultura
		DCC-1018	Ing. en Desarrollo Comunitario
13	Potabilización de Agua	AMG-1018	Ing. Ambiental
14	Problemas Hidrológicos	MIC-1312	Ing. en Minería
15	Sistema de Riego Presurizado	ASF-1021	Ing. en Innovación Agrícola Sustentable
16	Sistema de Riego Superficial	ASF-1022	Ing. en Innovación Agrícola Sustentable
17	Tratamiento de Aguas residuales	AMF-2202	Ing. Química
18	Uso eficiente del agua	AGC-1023	Ing. en Agronomía



**Fig. 1.** Número de campus del TecNM que ofertan carreras en las que se imparten materias relacionadas con el tema del agua

**Tabla 2.** Campus del TecNM que ofertan la carrera de Ing. Civil en la que se imparten las asignaturas de abastecimiento de agua potable, hidrología e hidrología superficial

No	Campus	Carrera
1	Instituto Tecnológico de Agua Prieta	Ing. Civil
2	Instituto Tecnológico de Apizaco	
3	Instituto Tecnológico de Boca de Río	
4	Instituto Tecnológico de Campeche	
5	Instituto Tecnológico de Cancún	
6	Instituto Tecnológico de Cd. Victoria	
7	Instituto Tecnológico de Cerro Azul	
8	Instituto Tecnológico de Chetumal	
9	Instituto Tecnológico de Chilpancingo	
10	Instituto Tecnológico de Durango	
11	Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Los Cabos	
12	Instituto Tecnológico de Guaymas	
13	Instituto Tecnológico de Istmo	
14	Instituto Tecnológico de Iztapalapa III	
15	Instituto Tecnológico de la Paz	
16	Instituto Tecnológico de Matamoros	
17	Instituto Tecnológico de Matehuala	
18	Instituto Tecnológico de Mérida	
19	Instituto Tecnológico de Nogales	



20	Instituto Tecnológico de Nuevo Laredo	
21	Instituto Tecnológico de Oaxaca	
22	Instituto Tecnológico de Pachuca	
23	Instituto Tecnológico de Pochutla	
24	Instituto Tecnológico de Reynosa	
25	Instituto Tecnológico de Tapachula	
26	Instituto Tecnológico de Tehuacán	
27	Instituto Tecnológico de Tepic	
28	Instituto Tecnológico de Tijuana	
29	Instituto Tecnológico de Tlaxiaco	
30	Instituto Tecnológico de Tuxtepec	
31	Instituto Tecnológico de Valle de Etla	
32	Instituto Tecnológico de Villahermosa	
33	Instituto Tecnológico de Zacatepec	
34	Instituto Tecnológico de Zitácuaro	
35	Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez Campus Lagos de Moreno	
36	Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez Campus Tequila	
37	Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez Campus Zapopan	
38	Instituto Tecnológico Superior de Acayucán	
39	Instituto Tecnológico Superior de Apatzingán	
40	Instituto Tecnológico Superior de Cintalapa	
41	Instituto Tecnológico Superior de La Costa Chica	
42	Instituto Tecnológico Superior de La Montaña	
43	Instituto Tecnológico Superior de Las Choapas	
44	Instituto Tecnológico Superior de Los Ríos	
45	Instituto Tecnológico Superior de Macuspana	
46	Instituto Tecnológico Superior de Misantla	
47	Instituto Tecnológico Superior de Oriente del Estado de Hidalgo	
48	Instituto Tecnológico Superior de Puerto Peñasco	
49	Instituto Tecnológico Superior de Santiago Papasquiario	
50	Instituto Tecnológico Superior de Sur del Estado de Yucatán	
51	Instituto Tecnológico Superior de Tlatlauquitepec	
52	Instituto Tecnológico Superior de Uruapan	
53	Instituto Tecnológico Superior de Valladolid	
54	Instituto Tecnológico Superior de Xalapa	
55	Instituto Tecnológico Superior de Zongolica	
56	Tecnológico de Estudios Superiores de Coacalco	
57	Tecnológico de Estudios Superiores de Huixquilucan	



58	Tecnológico de Estudios Superiores de Jilotepec	
59	Tecnológico de Estudios Superiores de San Felipe del Progreso	
60	Tecnológico de Estudios Superiores de Valle de Bravo	

**Tabla 3.** Campus del TecNM que ofertan la carrera de Ing. Ambiental en la que se imparten las asignaturas de fundamentos de aguas residuales y potabilización de agua

No	Campus	Carrera
1	Instituto Tecnológico de Bahía de Banderas	<b>Ing. Ambiental</b>
2	Instituto Tecnológico de Campeche	
3	Instituto Tecnológico de Cd. Guzmán	
4	Instituto Tecnológico de Cd. Madero	
5	Instituto Tecnológico de Cd. Valles	
6	Instituto Tecnológico de Celaya	
7	Instituto Tecnológico de Colima	
8	Instituto Tecnológico de Culiacán	
9	Instituto Tecnológico de Gustavo A. Madero	
10	Instituto Tecnológico de Matamoros	
11	Instituto Tecnológico de Mérida	
12	Instituto Tecnológico de Minatitlán	
13	Instituto Tecnológico de Nuevo León	
14	Instituto Tecnológico de Tijuana	
15	Instituto Tecnológico de Tlajomulco	
16	Instituto Tecnológico de Valle de Morelia	
17	Instituto Tecnológico de Villahermosa	
18	Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez Campus Arandas	
19	Instituto Tecnológico Superior de Abasolo	
20	Instituto Tecnológico Superior de Álamo Temapache	
21	Instituto Tecnológico Superior de Cajeme	
22	Instituto Tecnológico Superior de Champotón	
23	Instituto Tecnológico Superior de Comalcalco	
24	Instituto Tecnológico Superior de Fresnillo	
25	Instituto Tecnológico Superior de Huatusco	
26	Instituto Tecnológico Superior de La Montaña	
27	Instituto Tecnológico Superior de Lerdo	
28	Instituto Tecnológico Superior de Los Ríos	
29	Instituto Tecnológico Superior de Macuspana	



30	Instituto Tecnológico Superior de Martínez de la Torre
31	Instituto Tecnológico Superior de Misantla
32	Instituto Tecnológico Superior de Múzquiz
33	Instituto Tecnológico Superior de Pátzcuaro
34	Instituto Tecnológico Superior de San Andrés Tuxtla
35	Instituto Tecnológico Superior de San Martín Texmelucan
36	Instituto Tecnológico Superior de Santiago Papasquiaro
37	Instituto Tecnológico Superior de Sur de Guanajuato
38	Instituto Tecnológico Superior de Tamazunchale
39	Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca
40	Instituto Tecnológico Superior de Valladolid
41	Instituto Tecnológico Superior de Villa La Venta
42	Tecnológico de Estudios Superiores de Coacalco
43	Tecnológico de Estudios Superiores de Ixtapaluca
44	Tecnológico de Estudios Superiores de Oriente del Estado de México
45	Tecnológico de Estudios Superiores de Tianguistenco

**Tabla 4.** Campus del TecNM que ofertan la carrera de Ing. en Innovación Agrícola Sustentable en la que se imparten las asignaturas de sistema de riego presurizado y sistema de riego superficial

No	Campus	Carrera
1	Instituto Tecnológico de Comitán	<b>Ing. en Innovación Agrícola Sustentable</b>
2	Instituto Tecnológico de Ensenada	
3	Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Zamora	
4	Instituto Tecnológico de Frontera Comalapa	
5	Instituto Tecnológico de Huimanguillo	
6	Instituto Tecnológico de Roque	
7	Instituto Tecnológico de Superior de Calkiní	
8	Instituto Tecnológico de Tlajomulco	
9	Instituto Tecnológico de Valle de Morelia	
10	Instituto Tecnológico de Valle del Guadiana	
11	Instituto Tecnológico de Valle del Yaqui	
12	Instituto Tecnológico de Zitácuaro	
13	Instituto Tecnológico El Llano Aguascalientes	



14	Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez Campus Cocula
15	Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez Campus Mascota
16	Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez Campus Tala
17	Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez Campus Tamazula de Gordiano
18	Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez Campus Zapotlanejo
19	Instituto Tecnológico Superior de Abasolo
20	Instituto Tecnológico Superior de Apatzingán
21	Instituto Tecnológico Superior de Cd. Serdán
22	Instituto Tecnológico Superior de Coalcomán
23	Instituto Tecnológico Superior de Cosamaloapan
24	Instituto Tecnológico Superior de San Miguel el Grande
25	Instituto Tecnológico Superior de El Dorado
26	Instituto Tecnológico Superior de Hopelchén
27	Instituto Tecnológico Superior de Huichapan
28	Instituto Tecnológico Superior de Irapuato
29	Instituto Tecnológico Superior de La Sierra Norte de Puebla
30	Instituto Tecnológico Superior de Libres
31	Instituto Tecnológico Superior de Los Reyes
32	Instituto Tecnológico Superior de Mante
33	Instituto Tecnológico Superior de Naranjos
34	Instituto Tecnológico Superior de Nochistlán
35	Instituto Tecnológico Superior de P´urhépecha
36	Instituto Tecnológico Superior de Rioverde
37	Instituto Tecnológico Superior de Salvatierra
38	Instituto Tecnológico Superior de Santa María del Oro
39	Instituto Tecnológico Superior de Tacámbaro
40	Instituto Tecnológico Superior de Tierra Blanca
41	Instituto Tecnológico Superior de Tlatlauquitepec
42	Instituto Tecnológico Superior de Zongolica



**Tabla 5.** Campus del TecNM que ofertan la carrera de Ing. Química en la que se imparte la asignatura de aguas residuales

No	Campus	Carrera
1	Instituto Tecnológico de Aguascalientes	<b>Ing. Química</b>
2	Instituto Tecnológico de Atitalaquia	
3	Instituto Tecnológico de Campeche	
4	Instituto Tecnológico de Cd. Madero	
5	Instituto Tecnológico de Celaya	
6	Instituto Tecnológico de Chihuahua	
7	Instituto Tecnológico de Durango	
8	Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de La Región Carbonífera	
9	Instituto Tecnológico de La Laguna	
10	Instituto Tecnológico de Lázaro Cárdenas	
11	Instituto Tecnológico de Los Mochis	
12	Instituto Tecnológico de Matamoros	
13	Instituto Tecnológico de Mérida	
14	Instituto Tecnológico de Mexicali	
15	Instituto Tecnológico de Minatitlán	
16	Instituto Tecnológico de Oaxaca	
17	Instituto Tecnológico de Orizaba	
18	Instituto Tecnológico de Pachuca	
19	Instituto Tecnológico de Parral	
20	Instituto Tecnológico de Salina Cruz	
21	Instituto Tecnológico de Tapachula	
22	Instituto Tecnológico de Tepic	
23	Instituto Tecnológico de Tijuana	
24	Instituto Tecnológico de Toluca	
25	Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez	
26	Instituto Tecnológico de Veracruz	
27	Instituto Tecnológico de Villahermosa	
28	Instituto Tecnológico de Zacatepec	
29	Instituto Tecnológico Superior de Acayucán	
30	Instituto Tecnológico Superior de Centla	
31	Instituto Tecnológico Superior de Irapuato	
32	Instituto Tecnológico Superior de Mante	
33	Instituto Tecnológico Superior de Tlaxco	
34	Instituto Tecnológico Superior de Villa La Venta	
35	Tecnológico de Estudios Superiores de Chimalhuacán	
36	Tecnológico de Estudios Superiores de Coacalco	



37	Tecnológico de Estudios Superiores de Cuautitlán Izcalli	
38	Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec	
39	Tecnológico de Estudios Superiores de Jilotepec	
40	Tecnológico de Estudios Superiores de Jocotitlán	
41	Tecnológico de Estudios Superiores de San Felipe del Progreso	



AGENDA ESTRATÉGICA  
DEL TecNM

“AGUA LIMPIA Y  
SANEAMIENTO”



# Capítulo 1.

# Agenda Nacional





AGENDA ESTRATÉGICA  
DEL TecNM

## "AGUA LIMPIA Y SANEAMIENTO"

Descripción de ejes  
estratégicos, objetivos,  
metas acciones e indicadores





### 3. Capítulo 1. Agenda Nacional

El capítulo 1 de la agenda del TecNM Agua Limpia y Saneamiento contempla la descripción de los ejes estratégicos y la programación de las actividades que serán desarrolladas a nivel nacional en diferentes campus del TecNM.

#### 3.1 Descripción de Ejes Estratégicos, Objetivos, Metas, Acciones e Indicadores

La agenda estratégica del TecNM agua limpia y saneamiento está conformada por 8 ejes estratégicos, de los cuales 7 son ejes temáticos y son coordinados por un plantel en particular (Ver Tabla 6). El eje No. 8 es transversal y participan todos los planteles que coordinan los ejes temáticos. Adicionalmente, es importante mencionar que en cada eje estratégico podrán participar profesores e investigadores de los diferentes campus del TecNM que así lo deseen.

**Tabla 6.** Ejes de la agenda estratégica del TecNM agua limpia y saneamiento

No.	Nombre del Eje Estratégico	Plantel que Coordina
1	Captación de Agua	TecNM campus Villahermosa
2	Cuidado del Agua	TecNM campus Toluca
3	Métodos de tratamiento de agua potable	TecNM campus Boca del Río
4	Métodos de tratamiento de aguas residuales	TecNM campus Boca del Río
5	Recuperación y reúso del agua	TecNM campus Tijuana
6	Monitoreo de la calidad del agua	TecNM campus Aguascalientes
7	Tecnologías emergentes	TecNM Valle de Etna
8	Educación y capacitación (eje transversal)	TecNM campus Aguascalientes, Boca del Río, Tijuana, Toluca, Valle de Etna y Villahermosa.



**AGENDA ESTRATÉGICA  
DEL TecNM**  
"AGUA LIMPIA Y SANEAMIENTO"

# Eje Estratégico No. 1 Captación de Agua





### **3.1.1 Eje Estratégico No. 1: Captación de Agua**

El TecNM campus Villahermosa es el coordinador del eje estratégico de **captación de agua**. A continuación, se presenta una introducción, antecedentes, justificación, objetivos, metas, acciones e indicadores de este eje.

#### **a) Introducción**

Hoy en día, el agua disponible para uso y consumo humano es de vital importancia, debido a ello, se están desarrollando soluciones y estrategias para poder tener acceso a este recurso.

La captación de aguas ayuda a disminuir el uso del agua superficial de los lagos y ríos, ya que esa agua captada se puede emplear en diversas actividades, lo cual ayuda a enfrentar la escasez del vital líquido que existe actualmente.

El Censo de Población y Vivienda 2010 registro datos que demuestran que casi el 74 % de las viviendas con agua entubada a nivel nacional, cuentan con el servicio de forma ininterrumpida. Esta situación indica que más del 25 % no puede acceder al agua de forma continua [1].

La escasez de agua impacta en muchas actividades de la vida diaria, las labores domésticas y la salud, así mismo hacerse del recurso requiere un gran trabajo. La ubicación de los asentamientos humanos dificulta la instalación de sistemas de abastecimiento de agua. Específicamente, entre los sistemas para abastecer agua a los asentamientos humanos encontramos: conexiones domiciliarias, fuentes públicas de agua, pozos y la recolección de agua de lluvia.

La recolección y captación de agua de lluvia se ha usado por distintas civilizaciones a lo largo de la historia de la humanidad con el objetivo de abastecer el agua para el consumo humano o para el uso agrícola [2]. En



este contexto, se debe resaltar que con los años se ha incrementado la necesidad de mejorar e incrementar las formas de captar y recolectar agua de diferentes fuentes, con el objeto de brindar acceso del vital líquido para las diferentes necesidades de la sociedad.

## **b) Antecedentes**

La captación del agua consiste en recolectar y almacenar agua de diferentes fuentes para un uso benéfico de la sociedad. Los tipos más comunes de captación de agua son: captación lateral, captación en lagos, lagunas y embalses, captación flotante, captación móvil, captación de manantiales, captación de alta montaña, captación de agua de mar y captación de aguas de lluvia. En este sentido, se puede resaltar que cerca de 1 500 000 millones de metros cúbicos de agua de lluvia son depositados al año en nuestro país. De esta cantidad de agua, cerca del 72 % se evapora y un poco más del 22 % se escurre en los cuerpos de agua como los ríos, arroyos, lagunas, etc. El resto se infiltra por el suelo y recarga los cuerpos de aguas subterráneos [3].

En el año 2012 se realizó un estudio sobre la viabilidad de la captación de agua de lluvia en la Ciudad de México, en el cual se concluye que en las zonas con buena precipitación es recomendable establecer sistemas de captación de agua, para ayudar a minimizar el uso de sistemas alternos de abastecimiento de agua como el apoyo con pipas. Ese sistema de captación disminuiría el consumo de recursos económicos y energéticos por el uso de dichas pipas [4].

Los datos del INEGI en 2016 indican que más de 25 mil casas en la Ciudad de México se abastecen de agua potable a partir de pipas, ya que carecen de agua potable entubada.



La problemática de escasez de agua y desarrollo de sistemas de captación no solo repercute a los asentamientos humanos, sino a centros de trabajo. Un ejemplo es la Academia Mexicana de Ciencias, ya que sus instalaciones principales en la Ciudad de México no cuentan con un sistema de agua potable y se abastece con pipas, todo ello para satisfacer las necesidades del personal que labora en dicha Institución [5].

Como podemos observar, es necesario desarrollar y establecer sistemas de captación de agua en diferentes zonas para poder llevar a cabo las actividades propias de los seres humanos.

### **c) Justificación**

Pese a la cantidad de agua que llueve y se deposita en los cuerpos de aguas con que cuenta el país, el recurso hídrico no se distribuye en una forma apropiada o adecuada. Debido a lo anterior muchos asentamientos humanos tienen escasez del vital líquido, por ello la necesidad de desarrollar diversos sistemas de suministro de agua, para que dichos asentamientos puedan subsistir y desarrollarse con el tiempo.

El desarrollo urbano desorganizado o mal planeado en diversos asentamientos humanos hace difícil la instalación y suministro del recurso agua potable, siendo los sistemas de captación de agua una necesidad para dichos lugares.

Aunque los sistemas de captación de agua presentan un reto, tanto técnico como económico por la instalación de la infraestructura y la modificación de estas en algunos casos, se requieren para poder obtener el recurso agua. No obstante, el factor económico limita el desarrollo sistemas de captación de agua. Sin embargo, con el apoyo de los docentes del TecNM, se podrá desarrollar infraestructura con materiales resistentes



y adecuados, y que sean económicamente viables. En este sentido, es importante resaltar que la transferencia de la tecnología en las zonas rurales o que tengan necesidad del recurso agua, es una oportunidad para el desarrollo de estas zonas y del país en general, ya que los factores sociales como los hábitos y costumbres pueden ser una ventaja para poder desarrollar sistemas de captación en los lugares más adecuados donde puedan detonar la economía y el desarrollo de la sociedad en general.

#### d) Objetivos, metas, acciones e indicadores

Los objetivos, metas, acciones e indicadores del eje estratégico No. 1 Captación de Agua de la Agenda Estratégica del TecNM Agua limpia y saneamiento se citan en la Tabla 7.

**Tabla 7.** Objetivos, metas, acciones, indicadores del eje estratégico No. 1 Captación de Agua

Objetivos	Metas	Acciones	Indicadores	Fecha compromiso
1. Disminuir el volumen de agua potable empleada en los campus	De aquí al 2030, lograr que los campus, tengan instalados sistemas de captación de agua	Realizar un estudio del volumen de agua potable empleada en los campus. Gestionar la autorización de los recursos financieros para la instalación de los sistemas de captación, tratamiento y	Proporción de sistemas de captación instalados en comparación de los sistemas de captación requeridos	Etapa 1. Diciembre 2028  Etapa 2. Diciembre 2030



		<p>suministro de agua en cada campus.</p> <p>Dar seguimiento mensual al programa físico-financiero autorizado por cada campus para verificar los avances en la construcción y el ejercicio presupuestal.</p>		
<p>2. Disminuir el consumo de agua potable en los sistemas de saneamiento e higiene en los campus.</p>	<p>De aquí al 2030, lograr que los servicios de saneamiento e higiene de los campus usen 30 % de agua de sistemas de captación.</p>	<p>Elaborar un estudio sobre el consumo de agua en los sistemas de saneamiento e higiene. Asegurar que en el diseño y construcción del sistema de captación y suministro del agua se incluyan las necesidades para los servicios de</p>	<p>Proporción de servicios de saneamiento e higiene instalados en comparación de los sistemas requeridos</p>	<p>Etapa 1. Diciembre 2028</p> <p>Etapa 2. Diciembre 2030</p>



		<p>saneamiento, higiene y jardines de los campus.</p> <p>Dar seguimiento a los programas físicos de avance de las obras para la infraestructura de suministro de agua de captación a los servicios de saneamiento, higiene y jardines del campus.</p>		
<p>3. Garantizar un diseño para la buena calidad del agua captada en los campus</p>	<p>De aquí al 2030, diseñar un sistema de tratamiento de aguas que mejore la calidad de agua de los sistemas de captación de los campus</p>	<p>Elaborar un diagnóstico de la calidad del agua de captación con respecto a la legislación aplicable.</p> <p>Implementar el sistema de tratamiento de para la captación de</p>	<p>Proporciona una base sólida en el funcionamiento del sistema y predecir el efecto que pueda suceder en la calidad de las aguas.</p>	<p>Etapa 1. Diciembre 2028</p> <p>Etapa 2. Diciembre 2030</p>



		aguas en los campus		
4. Ampliar el uso del agua captada en los campus	De aquí a 2030, aumentar el uso del agua captada en cada campus	Identificar áreas de oportunidad donde se pueda emplear el agua captada. Ampliar el sistema de distribución de agua captada en cada campus.	Reporte de consumo de agua potable en comparación con el agua captada de cada campus.	Etapa 1. Diciembre 2028  Etapa 2. Diciembre 2030
5. Capacitar a los docentes, alumnos en el diseño y construcción en el sistema de captación de aguas	De aquí a 2030, implementar la capacitación del diseño y construcción de sistemas de captación de agua a docentes y alumnos	Implementar un programa de capacitación continua para los docentes y alumnos sobre los sistemas de captación de aguas	Asistir en la implementación del cumplimiento del programa de capacitación en los campus.	Etapa 1. Diciembre 2028  Etapa 2. Diciembre 2030
6. Incorporar el tema de captación de aguas en las asignaturas pertinentes.	De aquí a 2030, implementar en las asignaturas de las carreras que estén dentro del perfil, el tema captación de aguas.	Análisis de los programas educativos para establecer el tema de captación de aguas orientado al	Informe de los programas educativos actualizados. Implementación en el estudio de la captación de aguas proveniente de	Etapa 1. Diciembre 2028  Etapa 2. Diciembre 2030



		perfil profesional Realizar reunión a nivel regional y nacional para revisar los temarios de las carreras donde se pueda incorporar el tema de captación de aguas.	diferentes fuentes para su beneficio	
7. Desarrollar sistemas de captación adecuados a las necesidades de cada comunidad rural.	De aquí a 2030, implementar la capacitación del diseño y construcción de sistemas de captación de agua a las comunidades rurales.	Diseñar un plan de capacitación para las personas de las comunidades rurales.	Volumen de la asistencia oficial para el desarrollo del conocimiento en materia de captación de aguas.	Etapa 1. Diciembre 2028  Etapa 2. Diciembre 2030
8. Disminuir el número de comunidades rurales con escasez de agua.	De aquí a 2030, implementar la transferencia de tecnología de captación de aguas a las comunidades rurales y la sociedad	Incrementar los proyectos financiados con transferencia de tecnología. Orientar a los docentes para una correcta	Proporción de comunidades rurales que han establecido procedimientos operacionales para los sistemas de captación de aguas	Etapa 1. Diciembre 2028  Etapa 2. Diciembre 2030



		transferencia tecnológica		
9. Desarrollar proyectos de captación entre los diferentes sectores productivos y las instituciones educativas.	De aquí a 2030, implementar a través del modelo dual proyectos de captación de aguas al sector público, privado y social.	Diseñar programas para el desarrollo de proyectos de captación de aguas a los sectores público, privado y social.	Grado de implementación de la gestión integrada de la captación en el sector público, privado y social.	Etapa 1. Diciembre 2028  Etapa 2. Diciembre 2030

### e) Bibliografía

- [1] INEGI. (2010). Censo de Población y Vivienda 2010. México, Distrito Federal, México. Recuperado el 20 de julio de 2016, de [http://www.inegi.org.mx/lib/olap/consulta/general\\_ver4/MDXQueryDat os.asp?#Regreso&c=](http://www.inegi.org.mx/lib/olap/consulta/general_ver4/MDXQueryDat os.asp?#Regreso&c=)
- [2] Ballén Suárez, J. A., Galarza García, M. Á., & Ortiz Mosquera, R. O. (2006). Historia de los sistemas de aprovechamiento de agua de lluvia. João Pessoa: Seminario Iberoamericano sobre Sistemas de Abastecimiento Urbano de Agua.
- [3] CONAGUA. (2014). Atlas del Agua en México 2014. México D.F.: Comisión Nacional del Agua.
- [4] HESRAT Asociados S.A. de C.V. (Diciembre de 2012). Factibilidad de la captación de agua de lluvia como política pública para la Ciudad de México. México D.F.
- [5] Sámano Romero, Gerardo. (2017). Diseño de un sistema de captación de agua de lluvia en la Academia Mexicana de Ciencias. Tesina de Especialidad. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ingeniería. Ciudad de México, México.



**AGENDA ESTRATÉGICA  
DEL TecNM**  
"AGUA LIMPIA Y SANEAMIENTO"

## Eje Estratégico No. 2 Cuidado del Agua





### **3.1.2 Eje Estratégico No. 2: Cuidado del Agua**

El TecNM campus Toluca es el coordinador del eje estratégico de **cuidado del agua**. A continuación, se presenta una introducción, antecedentes, justificación, objetivos, metas, acciones e indicadores de este eje.

#### **a) Introducción**

Los consejos que se recomiendan para el cuidado del agua se difunden en diferentes medios de comunicación y bajo el estilo de diferentes organizaciones, autoridades o instituciones educativas. Estos consejos no son desconocidos para casi para nadie, el problema ha sido, y es, la dificultad para llevarlo a la práctica.

Para facilitar la práctica de las acciones encaminadas al cuidado del agua, se han dividido en grupos específicos que enfatizan el cuidado particular de cada uso de agua y también facilitar la formación de un hábito de cuidado. Las primeras recomendaciones se enfocan al hogar por ser el lugar donde más tiempo pasa cada usuario y en donde se realizan las actividades de limpieza tanto personal como del hogar mismo, a las que se suman algunos usos en jardinería, riego de plantas y sobre todo en lavandería. Las fugas se presentan tanto en casa como en lugares de trabajo y son estas fugas las responsables de las mayores pérdidas de agua por año en las grandes ciudades, en esto radica la importancia de reportar o atender una fuga cuando esta sea detectada por el usuario.

El momento para llevar a cabo las acciones que se recomiendan para el cuidado del agua es ahora, la creciente población mundial requiere cada vez volúmenes más grandes de agua, proveerla se ha vuelto una tarea cada vez más difícil de realizar por el agotamiento continuo de las fuentes de agua dulce disponibles [1]. Al igual que sabemos las acciones para el



cuidado del agua, también es de nuestro conocimiento que el 75 % de nuestro planeta es agua y de ella, más del 97 % es agua salada, así que solo contamos con un 3 % de agua total del planeta para consumo y una buena parte de ella se encuentra en icebergs y glaciares, así que el porcentaje de agua a la que tenemos acceso es mínimo y disminuye cada año al aumentar cada año el volumen de agua contaminada. En esto radica la importancia del cuidado del agua. Las acciones que implican el cuidado del agua son fáciles y sencillas, pero como ya se escribió antes, su principal dificultad es llevarlas a cabo, no obstante, no aplicarlas está comprometiendo de manera importante la disponibilidad del agua, ya no hay tiempo de espera para comenzar con las acciones que mitiguen el impacto en el uso y consumo de agua, que es el líquido que permite la vida de todas las especies animales y vegetales [2].

## **b) Antecedentes**

En 1968 el gobierno sueco recomendó al Consejo Económico y Social de la Organización Mundial de las Naciones Unidas (ONU) que incluyera un tópico nunca tratado por dicha organización en su agenda de trabajo: el estado del medio ambiente y del hábitat. Este llamado de atención y las crecientes manifestaciones mundiales sobre el deterioro ambiental llevaron a que la ONU organizara en 1972 la primera reunión intergubernamental sobre este tema: la Conferencia de Estocolmo, una de las recomendaciones emanadas de la Conferencia de Estocolmo es la necesidad de establecer un programa internacional de educación sobre el medio ambiente, de carácter interdisciplinario y que abarcara la educación formal y no formal. Se partía de la premisa de que el ambiente es un sistema con componentes físicos, químicos, biológicos, sociales y económicos en interacción permanente.



Luego del Seminario de Belgrado (1975), la UNESCO propuso en la conferencia Internacional de Nairobi (1976), la creación del Programa Internacional de Educación Ambiental (PIEA), liderado por la UNESCO y el PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Cuidado del Ambiente). Este programa enfatiza la conceptualización del medio ambiente como la interacción entre el medio natural, social y cultural, en el marco de las diversas alternativas de desarrollo y trazó directrices generales sobre cómo trabajar este tema a nivel internacional.

Por otro lado, hace apenas 13 años, la ONU reconoce el agua y el saneamiento como un derecho humano fundamental. Miles de millones de personas en todo el mundo todavía viven sin agua potable y saneamiento gestionados de forma segura. El suministro de agua y la pobreza están estrechamente relacionados. Sin agua, no hay desarrollo; sin desarrollo, es imposible erradicar la pobreza. Tras 46 años sin celebrarse, la ONU convocó a una nueva Conferencia del Agua en Nueva York del 22 al 24 de marzo del 2023 [4], en donde se revisaron tanto las acciones marcadas en la Década de Acción por el Agua (2018-2028), así como las acordadas en los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030. Allí se reunieron los representantes de los 193 Estados Miembro para anunciar compromisos, planes, acciones y mejores prácticas. Aunado a los compromisos gubernamentales es necesario desarrollar una mayor conciencia ambiental de la sociedad a partir de la educación ambiental. Pese a la gran riqueza biocultural de México, la cultura de la prevención, protección, manejo y uso sustentable de los ecosistemas naturales y su biodiversidad es aún insuficiente. Existe en algunos sectores de la sociedad mexicana un gran desconocimiento acerca de la importancia y el valor de los bienes y servicios que proveen los ecosistemas naturales y la biodiversidad. Según la Encuesta Nacional de Percepciones y Actitudes hacia el Medio Ambiente, realizada por la UNAM en 2012, el 50% de los



encuestados afirmó estar algo interesado en los temas ambientales y tan sólo el 57% consideró que la responsabilidad del cuidado del medio ambiente corresponde a todos. Lo anterior muestra que a pesar de los grandes esfuerzos realizados para fomentar la conciencia ambiental y una preocupación y consideración de la interdependencia económica, social, política y ambiental, la meta está lejos [6]. La educación ambiental debe generar nuevas formas de relacionamiento con el agua, así como la construcción de una escala de valores que incluya la tolerancia, el respeto por la diferencia, la convivencia pacífica y la participación, entre otros valores democráticos. Por consiguiente, implica una formación en la responsabilidad, íntimamente ligada a la ética ciudadana. Esto le permitiría a las personas y a las comunidades estar mejor informadas y formadas (para el saber, el saber hacer y el saber ser), para actuar de manera ética, responsable, crítica, reflexiva y con capacidad para seguir aprendiendo, así como también ayudaría a difundir y a construir nuevos conocimientos para introducir los cambios deseados en las conductas, valores y estilos de vida.

La cultura del agua debe promover objetivos de aprendizaje, tanto de conocimientos, como de habilidades y actitudes fundamentales para impulsar un juicio crítico, el desarrollo de competencias y una conciencia ambiental de ahorro y uso eficiente del agua. Por esto, es importante que la educación ambiental contribuya a generar actitudes positivas en la vida cotidiana y profesional. Así mismo, la educación en el marco de la gestión del agua completa el ciclo formación-reflexión-acción, puesto que la comprensión de los problemas es el primer paso para concienciar y promover actitudes de cambio en los destinatarios de los procesos educativos, independientemente del ámbito de actuación en el que acontezca. Si comprendemos que las problemáticas ambientales, son generadas por la relación que los seres humanos establecemos con la



naturaleza y que esas relaciones responden históricamente a las consideraciones simbólicas que culturalmente han configurado nuestro pensamiento, entendemos que en las formas culturales de nuestra sociedad está la solución a estas problemáticas.

Desde estas reflexiones han surgido investigaciones como la de Zambrano (2019) titulada "Educando en derechos humanos y sociales: el cuidado del medio ambiente a través de las TIC" la cual buscó evidenciar si el desarrollo e implementación de una estrategia pedagógica mediada por las TIC permite a estudiantes de educación básica desarrollar actitudes y valores que favorezcan el cumplimiento y puesta en práctica de los derechos humanos y sociales tendientes al cuidado y protección del medio ambiente, asimismo, fortalecer las competencias comunicativas para que los educandos generen espacios de comunicación asertiva basados en el amor propio, el respeto por los seres de la naturaleza, elementos del medio ambiente y por ende darles la oportunidad de que lleguen a ser promotores del cuidado de nuestro planeta y los recursos naturales que cada día se ven más amenazados por las malas acciones que realizan algunas personas.

El proceso investigativo estuvo enfocado en determinar si la integración y uso de las TIC como mediación en el proceso enseñanza – aprendizaje de derechos sociales como el cuidado del medio ambiente, permiten que los estudiantes de educación básica primaria conozcan, apropien y apliquen de manera asertiva los principios de estos derechos en su entorno social, familiar y escolar.



### **c) Justificación**

El desarrollo del ser humano requiere de agua, siendo uno de los desafíos más importantes atender de forma segura la necesidad de agua potable, así como la de los servicios de saneamiento, lo que es vital para reducir el número de enfermedades y mejorar la salud, lo cual fue reconocido en el 2010 por la Asamblea General de la Naciones Unidas como "el derecho de todos los seres humanos a tener acceso a una cantidad de agua suficiente para el uso doméstico y personal (entre 50 y 100 litros de agua por persona y día), segura, aceptable y asequible (el costo del agua no debería superar el 3% de los ingresos del hogar), y accesible físicamente (la fuente debe estar a menos de 1.000 metros del hogar y su recogida no debería superar los 30 minutos)".

En México, tenemos 757 cuencas hidrológicas de las cuales 649 están disponibles para los usos consuntivos del agua, sin embargo, 105 se encuentran en una situación de sobreexplotación, lo que ha traído como consecuencia que 8 de las 13 regiones hidrológicas del país sufran de estrés hídrico y más del 70 % de los ríos, lagos y presas presenten algún grado de contaminación, en consecuencia, más mexicanos se encuentran en condiciones de escasez de agua y saneamiento. Se sabe que 3 de cada 10 personas no tiene servicios de agua potable seguros y 6 de cada 10 carecen de acceso a instalaciones de saneamiento gestionadas de forma segura; según las estadísticas de agua en México reportadas por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), 9 millones de mexicanos no contaban con agua potable y 1.5 millones de personas no tenían servicio de agua entubada [7].

Es por eso, que el cuidado del agua debe ser una estrategia primordial para el desarrollo sostenible que garantice la seguridad alimentaria y permita crear ecosistemas que lleven a una gran biodiversidad que refuercen la



seguridad hídrica, tomando como acciones la protección y restablecimiento del equilibrio de los ecosistemas relacionados con el agua, incluidos los bosques, las montañas, los humedales, los ríos, los acuíferos y los lagos.

#### d) Objetivos, metas, acciones e indicadores

Los objetivos, metas, acciones e indicadores del eje estratégico No. 2 **cuidado del agua** de la Agenda Estratégica del TecNM Agua limpia y saneamiento se citan en la Tabla 8.

**Tabla 8.** Objetivos, metas, acciones, indicadores del eje estratégico No. 2 Cuidado del Agua

Objetivos	Metas	Acciones	Indicadores	Fecha compromiso
1. Conformar una red de investigadores de diferentes instituciones involucrados en el estudio del agua	Contar con un grupo de al menos 10 Investigadores en los que se encuentren las regiones norte, centro y sur de nuestro país.	Detección del uso y consumo del agua en las regiones norte, centro y sur del país Detección de las líneas de generación y aplicación de conocimiento en materia del agua.	Red de especialistas en el tema de agua	Junio 2023
2. Elaborar un diagnóstico que identifique malas prácticas en los usos consuntivos	Identificar las malas prácticas en el uso del agua.	Elaboración de una rúbrica general que describa el diagnóstico real del uso del agua	Resultados de la rúbrica que incluya un análisis estadístico que	Diciembre 2023



y recreativos del agua		en el país para identificar las malas prácticas que conducen un consumo excesivo del agua.	identifique las malas prácticas a atender a la mayor celeridad posible.	
3. Elaborar una propuesta con acciones concretas que conduzcan a un cuidado de aguas naturales y domésticas	Documento con propuestas que impulsen el cuidado del agua.	Conformar una serie de acciones aprobadas por el grupo de expertos encaminadas al cuidado del agua.	Documento con acciones.	Junio 2024
4. Integrar a la red del agua de investigadores de área social para la revisión, inclusión y aprobación de las acciones a seguir en el cuidado del agua que incluyan usos y costumbres de las tres regiones del país.	Integración de investigador es del área social a la red de trabajo.  Acuerdo del método de difusión del documento con las acciones para el cuidado del agua	Conformar un grupo interdisciplinario para la aprobación de acciones para el cuidado del agua.  Inclusión de las costumbres de las tres regiones del país en las acciones del cuidado del agua.	Grupo interdisciplinario.  Método de difusión establecido.  Estrategia de evaluación de las acciones implementadas en el cuidado del agua,	Diciembre 2024
5. Elaborar de un documento que difunda las acciones		Ejecución del método de difusión de acciones.		



acordadas por el grupo interdisciplinario.				
--	--	--	--	--

### e) Bibliografía

- [1] Gómez-Duarte, O. G. (2018). Contaminación del agua en países de bajos y medianos recursos, un problema de salud pública. Revista Facultad de Medicina, 66(1), 7-8. <https://doi.org/10.15446/revfacmed.v66n1.70775>
- [2] Ríos-Tobón, S., Agudelo-Cadavid, R. M., & Gutiérrez-Builes, L. A. (2017). Patógenos e indicadores microbiológicos de calidad del agua para consumo humano. Revista Facultad Nacional de Salud Pública, 35(2), 236-247. <https://doi.org/10.17533/udea.rfnsp.v35n2a08>
- [3] Ministerio de obras públicas, Gobierno de Argentina: <https://www.argentina.gob.ar/noticias/algunas-recomendaciones-para-cuidar-el-agua>, acceso 13 de julio de 2020
- [4] ONU (2018) Decenio Internacional para la Acción "Agua para el Desarrollo Sostenible", 2018-2028 <https://www.un.org/es/events/waterdecade/#:~:text=Con%20el%20fin%20de%20acelerar,Agua%2C%20y%20termina%20esa%20misma>
- [5] ONU (2023) Conferencia de la ONU sobre el Agua 2023 del 22 al 24 de marzo de 2023, Nueva York <https://sdgs.un.org/es/conferences/water2023>
- [6] PROMARNAT (2020) Programa Sectorial de Medio Ambiente y Recursos Naturales 2020-2024, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales <https://www.gob.mx/profepa/acciones-y-programas/programa-sectorial-de-medio-ambiente-y-recursos-naturales-promarnat-2020-2024>
- [7] Estadísticas del Agua en México, edición 2014 CONAGUA, [https://www.google.com/search?q=conagua+estadisticas+del+agua+en+mexico&rlz=1C5CHFA\\_enMX791MX791&oq=Conagua%2C+estadisticas+del&aqs=chrome.1.69i57j0i512j0i22i30l4.7315j0j15&sourceid=chrome&ie=UTF-8](https://www.google.com/search?q=conagua+estadisticas+del+agua+en+mexico&rlz=1C5CHFA_enMX791MX791&oq=Conagua%2C+estadisticas+del&aqs=chrome.1.69i57j0i512j0i22i30l4.7315j0j15&sourceid=chrome&ie=UTF-8)



AGENDA ESTRATÉGICA  
DEL TecNM  
"AGUA LIMPIA Y SANEAMIENTO"

## Eje Estratégico No. 3 Métodos de tratamiento de agua potable



TECNOLÓGICO  
NACIONAL DE MÉXICO



INSTITUTO TECNOLÓGICO  
DE BOCA DEL RÍO



### **3.1.3 Eje Estratégico No. 3: Métodos de tratamiento de agua potable**

El TecNM campus Boca del Río es el coordinador del eje estratégico de **métodos de tratamiento de agua potable**. A continuación, se presenta una introducción, antecedentes, justificación, objetivos, metas, acciones e indicadores del este eje.

#### **a) Introducción**

El agua potable se denomina "bebible" en el sentido de que puede ser utilizada por humanos y animales sin riesgo de enfermedades. Este término se refiere al agua que ha sido tratada para el consumo humano de acuerdo con los estándares de calidad establecidos por las autoridades Nacionales e Internacionales [1]. El proceso de convertir el agua común en agua potable se llama potabilización. Por lo general, implica la eliminación de compuestos volátiles, seguida de la precipitación de las impurezas con un coagulante, filtración y desinfección con cloro u ozono. El abastecimiento de agua potable es un tema que ha ocupado al hombre desde la antigüedad. En algunas zonas se han construido cisternas para recoger el agua de lluvia. Estos depósitos suelen ser subterráneos, por lo que el agua siempre está fría y carece de luz, lo que favorece el crecimiento de algas [2].

El agua desempeña un papel vital en la salud pública, el crecimiento económico y la sostenibilidad del medio ambiente, pero solo alrededor del 0.01 % del agua de la Tierra es potable, cantidad que se reduce año tras año debido a la contaminación, por lo que se estima que 884 millones de personas en el mundo no tienen acceso a agua potable [3]. Para el año 2030 se espera que el uso del agua aumente en un 40 % gracias a una combinación de factores como el cambio climático, la acción humana y el



crecimiento demográfico, aunque hoy en día ya es excesivo en algunas ciudades. Por ejemplo, el consumo promedio de agua al día en la Ciudad de México es 366 litros diarios por persona (ONU, 2022).

En este sentido, cabe señalar que muchos países alrededor del mundo utilizan las guías para la calidad del agua humana publicadas por la Organización Mundial de la Salud (OMS) para establecer estándares nacionales para el agua potable. Por ejemplo, en México, existe el Programa Nacional Hídrico 2020-2024 por la Comisión Nacional del Agua, que establece los procesos de formulación, aprobación y ejecución de la política hídrica. La agenda del Agua 2030 que postula una estrategia a largo plazo, cuyos avances deberán ser revisados anualmente, define la naturaleza y magnitud de los desafíos a superar y de las soluciones a desplegarse al sistema nacional de gestión del agua de una adecuada orientación estratégica a largo plazo [4].

Además, se cuenta con las Normas Oficiales Mexicanas en materia de agua para uso y consumo humano (NOM-127-SSA1-2021), que establece los límites permisibles de la calidad del agua. La (NOM-179-SSA1-2020), que establece el control de la calidad del agua distribuida por los sistemas de abastecimiento de agua.

Los tratamientos para potabilizar el agua [2], se pueden clasificar de acuerdo con: a) Los componentes o impurezas a eliminar, b) Parámetros de calidad y c) Grados de tratamiento de agua. De esa forma la clasificación se puede visualizar en la Tabla 9.



**Tabla 9.** Posibles procesos unitarios que se pueden llevar a cabo en función de los contaminantes presentes

Tipo de contaminante	Operación Unitaria
Sólidos gruesos	Cribado, tamizado
Partículas coloidales	Coagulación-floculación, sedimentación
Sólidos en suspensión	Filtración
Materia orgánica	Afino con carbón activo
Gérmenes patógenos	Desinfección
Sólidos disueltos (Cl-, Na+, K+)	Ósmosis Inversa

Fuente: Calidad y tratamiento de agua, 2022. American Water Works Association [5]

Las aguas superficiales susceptibles de ser destinadas al consumo humano quedan clasificadas, según el grado de tratamiento que deben incluir para su potabilización, en los tres grupos siguientes:

- TIPO A1: Tratamiento físico simple y desinfección
- TIPO A2: Tratamiento físico normal, tratamiento químico y desinfección.
- TIPO A3: Tratamiento físico y químico intensivo, afino y desinfección.

## **b) Antecedentes**

En nuestro territorio mexicano existen 11 122 km de costas, 15 000 km<sup>2</sup> de lagunas costeras y 29 000 km<sup>2</sup> de cuerpos de agua interiores que forman una gran variedad de ecosistemas acuáticos, los que a su vez constituyen hábitats de gran importancia para miles de especies. La mayor parte de los recursos superficiales se localizan en los ríos, seguidos en importancia por presas, acuíferos, lagos y lagunas. Se reconocen 653 acuíferos, 51 ríos principales por los que fluye el 87 % del escurrimiento superficial y cuyas cuencas cubren el 65 % de la superficie del país; cerca de 70 lagos con extensiones entre 1 000 y más de 10 000 ha. Los ríos y arroyos constituyen



una red hidrográfica de aproximadamente 633 mil km de longitud. México cuenta con 142 humedales de importancia internacional, con una superficie mayor a 8.6 millones de hectáreas; entre los que se incluyen deltas, ríos, arroyos, lagos, lagunas, pantanos, oasis, cenotes, marismas, manantiales, manglares y rías. Algunos de estos sitios han sido declarados Patrimonio Mundial por la UNESCO [4]. El 69 % del escurrimiento natural de agua deriva de las cuencas de los ríos Balsas, Santiago, Verde, Ometepe, Fuerte, Grijalva-Usumacinta, Papaloapan, Coatzacoalcos, Pánuco, Tecolutla, Bravo y Tonalá; cuya superficie corresponde al 38% del país.

Específicamente, estudios recientes reportan que la presencia de los contaminantes emergentes a la entrada y salida de plantas de tratamiento de aguas residuales, ya que no es posible su completa eliminación debido a que se desconoce su toxicidad [6], ya que no están sujetos a evaluación ambiental antes de ser puestos en el mercado y a pesar de ser seguros para el consumo humano, no queda totalmente definido su impacto sobre el medio ambiente, especialmente en la contaminación del agua [7, 8].

Por otra parte, en México, la situación del vital líquido vislumbra un panorama que indica que cerca de 12 millones de personas carecen de acceso al agua potable. 102 de los 653 acuíferos de la nación se encuentran sobreexplotados y el 46% del vital líquido se pierde por fugas en las redes de abastecimiento. Además, el 80 % de los cuerpos de agua del país presenta algún tipo de contaminación por descargas industriales. Sólo uno de cada 100 litros de agua que caen por concepto de lluvia es captado para su utilización en distintas actividades. Debido a la pobre calidad del agua en la mayoría de las cuencas, México es el país número uno en el mundo en consumo de agua embotellada. Y, por ejemplo, a pesar de que en Oaxaca 33 % de la población no tiene acceso al agua en sus hogares, el



gobierno federal decidió reducir en un 80 % el presupuesto de la Comisión Nacional del Agua para esa cuenca en 2016 [9].

### **c) Justificación**

Según la ONU (2022) 84 millones de personas en el mundo no tienen acceso a agua potable segura, 2.6 mil millones de personas carecen de acceso a saneamiento básico, es decir el 40 % de la población mundial. Estos problemas pueden ser estimados en un costo de USD 141 mil millones al año en todo el mundo, y una tercera parte de estos casos ocurren en países en desarrollo, donde cerca de 45 millones de metros cúbicos se desperdician diariamente en las redes de distribución. La cantidad de agua desperdiciada podría abastecer a cerca de 200 millones de personas. Por ejemplo, en el Valle de México, aproximadamente la mitad del agua se desperdicia. Además, cada día, alrededor de 30 millones de metros cúbicos no se facturan por causa de robo, medición inadecuada y corrupción [10].

En el mundo, hacer frente al cambio climático, al aumento de la escasez de agua, al crecimiento de la población, a los cambios demográficos y a la urbanización supone ya un desafío para los sistemas de abastecimiento de agua. Más de 2300 millones de personas viven en países con escasez de agua potable, situación que probablemente empeorará en algunas regiones como resultado del cambio climático y el crecimiento de la población. La reutilización de las aguas residuales para recuperar agua, nutrientes o energía se está convirtiendo en una estrategia importante. Los países utilizan cada vez más aguas residuales para fines de irrigación; en el caso de los países en desarrollo, esta práctica se realiza en el 7 % de las tierras de regadío. Aunque esta práctica supone riesgos para la salud



pública, la gestión segura de las aguas residuales puede aportar múltiples beneficios, como el aumento de la producción de alimentos [11].

Las fuentes de abastecimiento de agua para consumo humano y para riego seguirán evolucionando, y cada vez se utilizarán más aguas subterráneas y aguas de fuentes alternativas, como las aguas residuales. Además, el cambio climático conllevará mayores fluctuaciones en la cantidad de agua de lluvia recogida y la gestión de todos los recursos hídricos tendrá que mejorarse para garantizar el abastecimiento y la calidad [11].

En México, existen diferentes estándares (NMX) que indican los procedimientos que se deben seguir para la determinar los principales parámetros fisicoquímicos y biológicos del agua. No obstante, solo los laboratorios que se encuentran acreditados bajo la norma NMX-EC-17025-IMNC-2018 (Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración), cumplen con sus especificaciones. En este contexto, cabe señalar que la mayoría de los laboratorios acreditados en México son laboratorios privados y solo uno está acreditado por el TecNM como laboratorio de análisis de agua. Por lo tanto, existen muchas oportunidades para todos los laboratorios de las diferentes instalaciones del TecNM que quieran acreditarse y quieran brindar servicios confiables de análisis de calidad de agua que puedan dar el cumplimiento de las normas de calidad de agua vigentes en México, lo que será importante para asegurar la calidad del agua que se obtenga de los métodos de tratamiento que se realizan en las regiones hídricas y de impacto de los campus de TecNM.



#### d) Objetivos, metas, acciones e indicadores

Los objetivos, metas, acciones e indicadores del eje estratégico No. 3 Métodos de tratamiento de agua potable de la agenda estratégica del TecNM Agua limpia y saneamiento, se citan en la Tabla 10.

**Tabla 10.** Objetivos, metas, acciones, indicadores y fechas compromiso del eje estratégico No. 3 Métodos de tratamiento de agua potable.

Objetivos	Metas	Acciones	Indicadores	Fecha compromiso
1. Conformar una red de especialistas académicos y de investigación del TecNM en el manejo y tratamiento con métodos prácticos y de innovación del agua potable de acuerdo a su región hídrica.	Base de datos y evidencia fotográfica de Sistema de saneamiento de cada región hídrica con la participación activa de los campus del TecNM Número de plantas potabilizadoras, método de potabilización de agua, nivel de manejo integral sustentable del recurso en cada región hídrica.	Participar en actividades de gestión, revisión bibliográfica, plataformas WEB y trabajo de campo para conocer las capacidades de infraestructura física y humana en cada región hídrica por los diferentes campus del TecNM Capacitación del personal en técnicas de vanguardia	Índice de la Infraestructura para el saneamiento del agua potable de cada región hídrica. Nivel de Capacitación tecnológica para el manejo integral sustentable de métodos de potabilización de los diferentes niveles gubernamentales, y sociales en la región hídrica.	Diciembre 2024 Con base a plan de trabajo y recursos.



		para la potabilización de agua en un marco integral de sustentabilidad y manejo del recurso hídrico.		
2. Fortalecer técnica y científicamente los diversos campus del TecNM con respecto al manejo e infraestructura sanitaria, equipamiento y personal especializado en <i>Métodos de tratamiento de agua potable</i> , para apoyar las actividades de su región hídrica de impacto.	Obtener un diagnóstico de las necesidades de infraestructura y manejo del recurso hídrico en <i>Métodos de tratamiento de agua potable</i> en la región de impacto de los campus del TecNM.	Aplicación de una encuesta para determinar la infraestructura de saneamiento y de los sistemas de potabilización de agua potable específicos para fortalecer las tecnologías y el conocimiento científico del personal especializado del TecNM en los métodos innovadores de	Resultados de la encuesta técnico-científica e identificación de las fortalezas para el manejo y métodos de tratamiento del agua potable en la región de impacto.	30 de junio de 2023



		potabilización del agua.		
3. Desplegar un diplomado o de especialidad relacionado con el manejo y saneamiento en la potabilización del recurso hídrico.	Diplomado a impartirse en los diferentes campus del TecNM.	Conformar una base de datos de expertos en temas de agua. Conjuntar un grupo de trabajo para la revisión del temario.	Diplomado o especialidad impartida	Enero 2024

### e) Bibliografía

- [1] DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN, NORMA Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-2021, Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad del agua, 2021. Revisado, [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5650705&fecha=02/05/2022#gsc.tab=0](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5650705&fecha=02/05/2022#gsc.tab=0). (Acceso 23 de abril de 2023).
- [2] Hantke-Domas, M., & Jouravlev, A. (s. f.). Lineamientos de política pública para el sector de agua potable y saneamiento
- [3] Monsalve, E. V. (23 de Abril de 2023). ONU-Hábitat. Obtenido de [https://onuhabitat.org.mx/index.php/comprender-las-dimensiones-del-problema-del-agua?fb\\_comment\\_id=1919706488040991\\_2396617700349865](https://onuhabitat.org.mx/index.php/comprender-las-dimensiones-del-problema-del-agua?fb_comment_id=1919706488040991_2396617700349865)
- [4] Programa Nacional Hídrico 2020-2024. Comisión Nacional del Agua. PROGRAMA ESPECIAL DERIVADO DEL PLAN NACIONAL DE DESARROLLO 2019-2024.
- [5] AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION. (2002). Calidad y tratamiento del agua. 1era Edición. Editorial McGraw-Hill. España.



- [6] MANUAL DE TRATAMIENTO DE AGUA. (2007). Unidad Potabilización de Agua. Formaselect. España. Consultado en: [www.formaselect.com](http://www.formaselect.com)
- [7] OMS, (2011). *Guías para la calidad del agua de consumo humano: cuarta edición que incorpora la primera adenda [Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating first adendum]*. Revisado, <https://www.who.int/publications/i/item/9789240045064>. (Acceso 23 de abril de 2023).
- [8] García-Gómez C, Gortáres-Moroyoqui P, Drogui P. (2011) Contaminantes emergentes: efectos y tratamientos de remoción Emerging contaminants: effects and removal treatments. Rev Química Viva. 10(2):96–105.
- [9] Agua, C. N. (2011). Agenda del Agua 2030. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- [10] OMS (2023). Obtenido de <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>
- [11] Romero, M. (s.f.). Tratamientos utilizados en potabilización de agua. Guatemala: Facultad de Ingeniería - Universidad Rafael Landívar.



**AGENDA ESTRATÉGICA  
DEL TecNM**  
"AGUA LIMPIA Y SANEAMIENTO"

# Eje Estratégico No. 4

## Métodos de tratamiento de aguas residuales



**TECNOLÓGICO  
NACIONAL DE MÉXICO**



**INSTITUTO TECNOLÓGICO  
DE BOCA DEL RÍO**



### **3.1.4 Eje Estratégico No. 4: Métodos de tratamiento de aguas residuales**

El TecNM campus Boca del Río también es el coordinador del eje estratégico de **métodos de tratamiento de aguas residuales**. La introducción, antecedentes, justificación, objetivos, metas, acciones e indicadores del eje estratégico se citan en la siguiente sección.

#### **a) Introducción**

En 2020 la Organización Mundial de la Salud (OMS) [1], reporta:

- 45% de las aguas residuales domésticas generadas en el mundo se vertieron sin aplicar un tratamiento seguro.
- 54% de la población mundial (4200 millones de personas) utilizaba un servicio de saneamiento gestionado de forma segura.
- Más de 1700 millones de personas siguen sin tener acceso a servicios básicos de saneamiento, como inodoros o letrinas privados.
- De ellas, 494 millones todavía defecan al aire libre, por ejemplo, en alcantarillas, detrás de arbustos o en masas abiertas de agua.
- Se estima que al menos el 10 % de la población mundial consume alimentos regados con aguas residuales.
- Un saneamiento deficiente reduce el bienestar humano y el desarrollo social y económico a causa de la ansiedad, el riesgo de padecer agresiones sexuales, la pérdida de oportunidades educativas y laborales, y otras consecuencias.
- Un saneamiento deficiente va asociado a la transmisión de enfermedades diarreicas como el cólera y la disentería, así como la fiebre tifoidea, las lombrices intestinales y la poliomielitis. También agrava el retraso del crecimiento y contribuye a la propagación de la resistencia a los antimicrobianos.



México tiene 126.7 millones de habitantes [2], que requieren según la OMS 2019 [3], 100 litros de agua al día por persona (5 o 6 cubetas) para satisfacer sus necesidades, tanto de consumo como de higiene. El artículo 4° de la Constitución Mexicana afirma que *"toda persona tiene derecho al acceso, disposición y saneamiento de agua para consumo personal y doméstico en forma suficiente, salubre, aceptable y asequible"* [4]; sin embargo, el 47 % de los mexicanos no tiene acceso constante al agua potable y su saneamiento.

Una vez que el agua es usada, su composición se ve alterada y se considera agua contaminada. Las aguas residuales son aquellas que varían su composición y son provenientes de las descargas de usos públicos urbanos, domésticos, industrial, comercial, de servicios, agrícolas, pecuarios, acuícolas, de plantas de tratamiento y en general de cualquier otro uso, así como la mezcla de ellas [5].

A finales del año 2021 la CONAGUA [6], reporta el registro en el país de 2,872 plantas de tratamiento de agua residual en operación, con una capacidad total instalada de 198 603.55 L/s, y un caudal de tratamiento a 145 341.0 L/s, equivalentes al 67.2 % del agua residual generada y colectada en los sistemas municipales de alcantarillado del país; lo que indica que algunas plantas no funcionan al cien por ciento de su capacidad y otras han sido abandonadas. La razón por la que esta tecnología convencional no tiene éxito en países en desarrollo, como México, son los altos costos de inversión en la construcción, operación y mantenimiento, ya que la mayoría de estas dependen del presupuesto gubernamental, por lo que estos sistemas no son sostenibles donde la capacidad económica del municipio no es suficiente [7].

Los principales sistemas de tratamientos de aguas residuales en México reportados por la CONAGUA [8], son: Lodos activados en 52.9 %; Sistema



Dual 17.19 %; Lagunas de estabilización 10.4 %; Lagunas aireadas 5.22 %; Filtros Biológicos 3.88 %; Reactor anaerobio de flujo ascendente 0.89 %; Sistema primario 0.03 % y otros sistemas 6.18 %; en este último se ubican los Humedales artificiales o construidos entre otros.

### **Marco normativo**

En México el tratamiento de aguas considera el siguiente marco normativo:

- Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-2021, Que establece los límites permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en cuerpos receptores propiedad de la nación. Publicada el 11 de marzo 2022 [9]
- Norma Oficial Mexicana NOM-002-SEMARNAT-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en la descarga de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal. Publicada el 3 de junio de 1998 [10].
- Norma Oficial Mexicana NOM-003-SEMARNAT-1997, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios públicos. Publicada el 21 de septiembre de 1998 [11].
- Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2001, que establece las especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes en lodos y biosólidos para su aprovechamiento y disposición final. Publicada el 15 de agosto de 2003 [12].



## **Desafíos**

La Agenda 2030, en su Objetivo 6. Agua Limpia y Saneamiento; pretende garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos. De aquí a 2030 se establecen las siguientes metas [13]:

- Lograr el acceso a servicios de saneamiento e higiene adecuados y equitativos para todos y poner fin a la defecación al aire libre, prestando especial atención a las necesidades de las mujeres y las niñas y las personas en situaciones de vulnerabilidad.
- Mejorar la calidad del agua reduciendo la contaminación, eliminando el vertimiento y minimizando la emisión de productos químicos y materiales peligrosos, reduciendo a la mitad el porcentaje de aguas residuales sin tratar y aumentando considerablemente el reciclado y la reutilización sin riesgos a nivel mundial
- Aumentar considerablemente el uso eficiente de los recursos hídricos en todos los sectores y asegurar la sostenibilidad de la extracción y el abastecimiento de agua dulce para hacer frente a la escasez de agua y reducir considerablemente el número de personas que sufren falta de agua.
- Implementar la gestión integrada de los recursos hídricos a todos los niveles, incluso mediante la cooperación transfronteriza, según proceda.
- Proteger y restablecer los ecosistemas relacionados con el agua, incluidos los bosques, las montañas, los humedales, los ríos, los acuíferos y los lagos.
- Ampliar la cooperación internacional y el apoyo prestado a los países en desarrollo para la creación de capacidad en actividades y



programas relativos al agua y el saneamiento, como los de captación de agua, desalinización, uso eficiente de los recursos hídricos, tratamiento de aguas residuales, reciclado y tecnologías de reutilización

- Apoyar y fortalecer la participación de las comunidades locales en la mejora de la gestión del agua y el saneamiento.

Considerando la información citada anteriormente, los retos del Tecnológico Nacional de México con sus 254 planteles en todo el país, son fomentar la implementación de tecnologías y métodos de tratamiento de aguas residuales de bajo costo de construcción, implementación y mantenimiento. Estos tratamientos deben ser amigables con el medio ambiente, ya que además de depurar las aguas residuales, deberán ofrecer servicios ecosistémicos que ahorren energía y que fomenten el reusó de agua. Esta problemática puede atenderse por regiones, donde existen iniciativas y casos de éxito en el tratamiento de aguas residuales, porque se requiere conocer los sistemas que cada instituto maneja y de no tenerlos implementarlos como ejemplo de cuidado del medio ambiente.

### **b) Antecedentes**

Las aguas residuales son aquellas provenientes de actividades domésticas, industriales, comerciales, agrícolas, pecuarias, acuícolas o de cualquier otra actividad que, por el uso de que han sido objeto, contienen materia orgánica y otras sustancias químicas, físicas o biológicas que alteren su calidad original. Por lo tanto, desde que hombre comenzó su desarrollo en el planeta comenzó a generar aguas residuales y la problemática creció por la falta de un adecuado manejo y gestión. Ejemplo de ello: en el



neolítico, en 8500 a.C., iniciaron los procesos productivos y comerciales, creando núcleos de población creciente, que comenzaron a generar los desechos sanitarios. La primera instalación de saneamiento fue el pozo ciego o pozo negro en Babilonia en el año 4000 a.C., con un sistema de tubería de arcilla y por baldeo hacia los pozos. En la ciudad de Mohenjo-Daro, en el valle del Indo (en el actual Pakistán), aparecieron los primeros edificios con letrinas conectadas a alcantarillas en las calles. Los ciudadanos baldeaban con agua sus letrinas y las alcantarillas recogían el agua residual y la llevaban al pozo ciego o al río Indo. El problema había crecido en complejidad y magnitud, y empezamos a contaminar sistemáticamente los cursos de agua. En la Grecia antigua, ante la ausencia de ríos caudalosos, surgió una primera aplicación de las aguas negras a la fertilización agrícola. En algunas ciudades las alcantarillas llevaban las aguas negras a las afueras de la ciudad hacia un vertedero desde el que se transportaban por conductos a los campos de cultivo [14].

Por otro lado, el tratamiento de aguas residuales es un proceso que limpia y permite su reincorporación a los mantos acuíferos o a los sistemas de agua potable. La falta de tratamiento tiene importantes implicaciones ambientales, económicas y sociales, como son la destrucción de los mantos acuíferos y de la flora y fauna de zonas aledañas. Además, genera focos de transmisión de enfermedades y malos olores. Existen diferentes tipos de tratamientos que se pueden clasificar por la cantidad y tipo de residuos contenidos en aguas residuales. Por ejemplo: 1) Tratamiento Primario: asentamiento de sólidos (Procesos de Sedimentación; Decantación; Lagunas de estabilización; 2) Tratamiento Secundario: biológico de la materia orgánica disuelta (Lodos activados; Lagunas aireadas; Filtros biológicos y Reactores anaerobios de flujos ascendente (RAFA)) y 3) Tratamiento Terciario: microfiltración y desinfección (Desinfección, Filtración química) [15].



Existe otra clasificación de sistema de tratamiento de aguas residuales naturales, que buscan la depuración de las aguas, como son los Tratamientos en Terrenos (Infiltración lenta; Infiltración rápida y flujo superficial), otros con los Tratamientos en Sistemas acuáticos (Humedales; Lagunajes y Cultivos Acuáticos) [16]. De estos sistemas particularmente los Humedales se han utilizado ampliamente como ecotecnologías amigables con el ambiente, creando el concepto de Humedales artificiales o construidos.

Todos estos métodos y sistemas de tratamiento de aguas residuales buscan la disminución o eliminación de los contaminantes y contribuir a la solución de esta problemática.

La UNESCO [17] propone un ciclo de gestión mejorada de las aguas residuales para atender las tres principales consecuencias de liberar aguas sin un tratamiento adecuado, las cuales son: Efectos nocivos en la salud humana; Impactos negativos en el ambiente y Repercusiones adversas en actividades económicas.

### ***Ciclo de gestión mejorada (UNESCO)***

- **Prevención o reducción de contaminación de la fuente.** Reducir la cantidad de contaminantes o prohibirlos, a través de la legislación, ya que es más fácil y barato legislar su uso que removerlos de las aguas residuales. Es importante incorporar un sistema de monitoreo de las aguas residuales presentes en el sistema, en tiempo real, que permita plantear objetivos que concuerden con la realidad.
- **Recolección y tratamiento de aguas residuales.** La tendencia mundial va hacia los sistemas descentralizados, que permiten trabajar con pequeños grupos o zonas. Ahorran energía y agua ya



que solo cuestan de 20% a 50% del total de una planta tratadora centralizada y su gasto de operación y mantenimiento es también entre 5 % y 25 % más bajo.

- **Usar las aguas residuales como una fuente alternativa de agua.** Reusar el agua residual beneficia a los ecosistemas, reduce la extracción de agua dulce, rellena los acuíferos agotados y disminuye los costos de llevar agua dulce a las zonas de agricultura y ganadería.
- **Recuperación de subproductos útiles.** Es posible extraer energía de los subproductos del tratamiento de aguas residuales, con lo cual se pueden sustituir parcialmente los gastos energéticos de la planta.

### c) Justificación

A nivel mundial, México es el segundo país, sólo después de China, que utiliza más "aguas crudas" (sin tratar) para riego. Éstas acarrean grandes cantidades de organismos patógenos, metales pesados y residuos de productos de aseo personal que generan problemas de salud, así como de antibióticos, que contribuyen a aumentar la resistencia de las bacterias. En términos generales, las aguas sin tratamiento pueden provocar enfermedades humanas como cólera, diarreas, disentería, hepatitis A, fiebre tifoidea y poliomielitis. Además, contienen derivados de combustible y nuevos contaminantes que aún no están contemplados en la normativa mexicana que regula los límites y tipos de contaminantes en las plantas de tratamiento. Por ejemplo, derivados de disolventes industriales, plásticos y plaguicidas, que inciden de manera importante en el desarrollo de enfermedades crónico-degenerativas como el cáncer. La inversión en infraestructura de agua y saneamiento tiene efectos positivos evidentes en la reducción de la incidencia de enfermedades que afectan a la Salud Pública y a la preservación de los ecosistemas donde actualmente son vertidas estas aguas sin tratamiento. Además, un adecuado



tratamiento de las aguas residuales permitiría incorporar nuevamente el agua a los mantos subterráneos, los cuales sostienen alrededor de 62 % del uso público, 52 % del industrial y 34 % del agrícola e industrial. Por lo tanto, existe una gran área de oportunidad para todos los Institutos Tecnológicos que conforman el TecNM; para implementar su programa de Reactivación, Rediseño y Creación e Implementación de Métodos de tratamiento de aguas residuales, en cada de uno de sus institutos y de las localidades y áreas que impactan. De esta manera se estará promoviendo la educación del cuidado y aprovechamiento del agua y cumpliendo con la Agenda 2030 y la UNESCO.

#### d) Objetivos, metas, acciones e indicadores

Los objetivos, metas, acciones e indicadores del eje estratégico No. 4 métodos de tratamiento de aguas residuales de la agenda estratégica del TecNM Agua limpia y saneamiento, se citan en la Tabla 11.

**Tabla 11.** Objetivos, metas, acciones, indicadores y fechas compromiso del eje estratégico No. 4 Método de tratamiento de aguas residuales por humedales artificiales para todos.

Objetivos	Metas	Acciones	Indicadores	Fecha compromiso
1. Conformar un Programa de Tratamiento de aguas residuales por humedales artificiales y otras tecnologías alternas con los investigadores y	Contar con un programa nacional de tecnológicos que impulsen el Programa de Humedales Artificiales y otras tecnologías	Realizar un diagnóstico nacional en los 254 institutos del TecNM para conocer el tipo de tratamiento de aguas residuales que tienen.	Personal dedicado al tema. Publicaciones científicas. Publicaciones de difusión.	Enero 2025 (tentativamente con base al plan de trabajo y de los recursos)



profesores académicos.	para todos en su región de impacto.	Detección de capacidades científicas, tecnológicas y de innovación en los diferentes campus del TecNM.	Proyectos Modelos de utilidad.	
2. Conjuntar a los especialistas del TecNM en los Métodos de tratamiento de aguas residuales para impulsar ecotecnologías sustentables.	Congreso Nacional de Tratamiento de aguas residuales con énfasis a los Humedales Artificiales o Construidos otras tecnologías alternas que se realicen en el TecNM.	Hacer una convocatoria nacional, con las diferentes temáticas.  Organizar presentaciones orales y carteles.  Organizar mesas de discusión y trabajo	Número de asistentes. Número de participantes. Número de ponencias Número de poster Número de mesas Número de acuerdos	Enero 2024
3. Diseñar un diplomado relacionado con la implementación de ecotecnologías Humedales artificiales o construidos como una alternativa	Diplomado a impartirse en los diferentes campus del TecNM.	Conformar una base de datos de expertos en temas tratamiento de aguas residuales con humedales artificiales.  Conjuntar un grupo de trabajo	Diplomado impartido  Profesores capacitados	Enero 2024



sustentable para el tratamiento de aguas residuales		para la revisión del temario.  Impartición de acuerdo a cada región de impacto.		
4. Implementar Humedales Artificiales tipo jardines con plantas ornamentales por ejemplo como sistemas eficientes para resolver la problemática del tratamiento de aguas residuales y ser ejemplo para cada lugar en México i	Un humedal artificial, con diseño arquitectónico que se integré al paisaje como un jardín en cada instituto, o en su zona de impacto.	Taller de implementación de humedales artificiales.  Diseño de cada humedal.  Tramite de financiamiento interno o externo.  Construcción y puesta en marca.  Registro ante CONAGUA.	Proyecto de humedal por instituto o comunidad.  Humedal activo.	Enero- agosto 2024.
5. Incidir en el programa institucional de gestión de ambiental de cada institución en el manejo de sus aguas residuales a	Registro ante la CONAGUA, de los sistemas de tratamiento de aguas residuales por instituto, por ejemplo:	Capacitación para la gestión administrativa, para el registro ante CONAGUA de los sistemas de humedales artificiales.	Registro	Diciembre 24



través de Humedales artificiales y otras tecnologías	Humedales artificiales como sistemas de tratamiento de aguas residuales.			
--	--	--	--	--

### e) Bibliografía

- [1] Organización Mundial de la Salud (OMS) 2020. Saneamiento. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/sanitation>
- [2] Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) 2021. Censo de Población y vivienda 2020. <https://www.inegi.org.mx/temas/estructura/>
- [3] Organización Mundial de la Salud (OMS) 2019. Agua para consumo humano. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>
- [4] *Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos* [México], 5 febrero 1917, disponible en esta dirección: <https://www.refworld.org/es/docid/57f795a52b.html> [Accesado el 24 Abril 2023]
- [5] Comisión Nacional del Agua. (2018). *Inventario nacional de plantas municipales de potabilización y de tratamiento de aguas residuales en operación*. Comisión Nacional del Agua.
- [6] Comisión Nacional del Agua. (2021). <http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=plantasTratamiento&n=nacional>



- [7] Anda Sánchez, J. (2017). Saneamiento descentralizado y reutilización sustentable de las aguas residuales municipales en México. *Sociedad y ambiente*, 14), 119-143.
- [8] Comisión Nacional del Agua. (2018a). *Estadísticas del agua en México, edición 2018*. Comisión Nacional del agua.
- [9] DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN, NORMA Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-2021, Que establece los límites permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en cuerpos receptores propiedad de la nación, 2021. Revisado, [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5645374&fecha=11/03/2022#gsc.tab=0](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5645374&fecha=11/03/2022#gsc.tab=0). (Acceso 17 de abril de 2023).
- [10] DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN, NORMA Oficial Mexicana NOM-002-ECOL-1996, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, 1998. Revisado, [https://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=4881304&fecha=03/06/1998#gsc.tab=0](https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4881304&fecha=03/06/1998#gsc.tab=0). (Acceso 17 de abril de 2023).
- [11] DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN, NORMA Oficial Mexicana NOM-003-ECOL-1997, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público, 1998. Revisado, [https://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=4893449&fecha=21/09/1998#gsc.tab=0](https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4893449&fecha=21/09/1998#gsc.tab=0). (Acceso 17 de abril de 2023).
- [12] DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN, NORMA Oficial Mexicana Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2001, que establece las especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes en lodos y biosólidos para su aprovechamiento y disposición final.



[https://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=691939&fecha=15/08/2003#gsc.tab=0](https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=691939&fecha=15/08/2003#gsc.tab=0). (Acceso 15 de agosto de 2003).

- [13] Estudio Económico de América Latina y el Caribe 2018. Evolución de la inversión en América Latina y el Caribe: hechos estilizados, determinantes y desafíos de política. (CEPAL), <https://www.cepal.org/es/publicaciones/43964-estudio-economico-america-latina-caribe-2018-evolucion-la-inversion-america>
- [14] We AREWater Fondation.2017. Aguas negras, el rastro de nuestra historia. [https://www.wearewater.org/es/aguas-negras-el-rastro-de-nuestra-historia\\_281141#:~:text=La%20primera%20instalaci%C3%B3n%20de%20saneamiento,del%20imperio%20y%20zonas%20rurales](https://www.wearewater.org/es/aguas-negras-el-rastro-de-nuestra-historia_281141#:~:text=La%20primera%20instalaci%C3%B3n%20de%20saneamiento,del%20imperio%20y%20zonas%20rurales).
- [15] Reynolds K., 2002. Tratamiento de Aguas Residuales en Latinoamérica Identificación del Problema. Agua Latinoamérica, septiembre/Octubre, 4p.
- [16] Organización Mundial de la Salud, 2016. Planificación de la seguridad del saneamiento: manual para el uso y la disposición seguros de aguas residuales, aguas grises y excretas. ISBN 978924349248 (Clasificación NLM: WA675).
- [17] UNESCO, 2020. Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos. <https://es.unesco.org/themes/water-security/wwap/wwdr/2020#download>



AGENDA ESTRATÉGICA  
DEL TecNM  
"AGUA LIMPIA Y SANEAMIENTO"

## Eje Estratégico No. 5 Recuperación y reúso del agua





### **3.1.5 Eje Estratégico No. 5: Recuperación y reúso del agua**

El TecNM campus Tijuana es el coordinador del eje estratégico **recuperación y reúso del agua**. A continuación, se presenta una introducción, antecedentes, justificación, objetivos, metas, acciones e indicadores de este eje.

#### **a) Introducción**

En México, como en la mayor parte del mundo las instituciones de educación superior están considerando al agua, no solo como un tema de educación ambiental; sino como una necesidad imperante, ya que el servicio de agua potable, en muchas de ellas, no está garantizado. El Tecnológico Nacional de México ha dado un paso adelante en la búsqueda de coincidencias y contribuciones de parte de su comunidad para solventar los problemas de agua y para concientizar a sus estudiantes de la necesidad que hay de cambiar el paradigma del ciclo del agua. La actividad humana impacta fuertemente el ciclo del agua ya que en el afán de tener una vida más práctica y en la que el tiempo del día se pueda invertir en tareas intelectuales o de entretenimiento, solo se usa y se le impide continuar con su ciclo natural. El uso indiscriminado del agua y su disposición como agua residual rompen totalmente el ciclo natural del agua evitando la regeneración de las fuentes naturales. Por lo que el avance tecnológico ya no puede descartar el cuidado del agua. Toda aquella persona que sea consciente de que el agua es un recurso indispensable que hay que cuidar para poder disponer de él cuando se requiera, debe convencerse de que después de usar el agua hay que tratarla, recuperarla y volverla a usar. Este ciclo antropogénico del agua representa la nueva forma de cuidar y mejorar la gestión del agua para poderla garantizar a más personas.



El ciclo del agua requiere que el género homo sapiens tome a cargo la labor ayudar a su recuperación. Hablar de recuperación de agua es impedir que el agua de lluvia se mezcle con el agua de drenaje, hablar de recuperación de agua es no tirar indiscriminadamente el agua utilizada a la calle (en el mejor de los casos al drenaje). Hablar de recuperación de agua es crear conciencia en la población mundial para que se reformulen los paradigmas del uso del agua. Hablar de recuperación de agua es enseñar a todas las niñas y niños, jóvenes y señoritas a apreciar el agua limpia que sale de una llave. Hablar de recuperación de agua es perfilar la innovación y la tecnología hacia cómo armonizar con el ciclo natural del agua en el planeta Tierra, ya que en ningún otro planeta que se tenga conocimiento hasta la fecha, existe este preciado líquido que es fuente no solo de limpieza y sanidad, sino de la propia vida.

Como parte de la Agenda 2023 para el agua limpia y saneamiento del Tecnológico Nacional de México, la recuperación y el reúso del agua es el eje que pretende contribuir a la conservación del agua en el planeta Tierra, dándose a la tarea de crear e innovar en todas las tareas relacionadas con el uso del agua, para no solo contar con el agua como un recurso disponible, sino para garantizar su conservación. En el eje de Recuperación y Reúso de agua se presentarán los antecedentes internacionales y nacionales relativos a la recuperación y el reúso del agua, para posteriormente justificar la temática como un importante eje de la Agenda de TecNM, presentar los objetivos, metas y acciones, y finalmente, dar las perspectivas que promete el trabajo en conjunto de los Institutos Tecnológicos, a nivel nacional.



## **b) Antecedentes**

Una de las clasificaciones más simples del agua utilizada en diferentes labores humanas, es la siguiente: gris, negra e industrial. El agua gris se le denomina a toda el agua proveniente de labores de limpieza (lavamanos, lavadora, lavado de trastes, lavado común de pisos, lavado de autos, regadera, agua de tina y agua de albercas, entre otras), esta agua suele tener algo de poco de polvo, grasa y jabón, su disposición es comúnmente al drenaje municipal [1]. El agua negra procede del uso del W.C. y se produce principalmente en las urbanizaciones, ya que las casas habitación, lugares de reunión y entretenimiento se construyen para que esta agua se incorpore también al drenaje municipal. En cuanto al agua de uso industrial, ésta tiene múltiples composiciones, ya que los procesos de producción son muy variados. Sin embargo, de manera general si se pueden identificar que contienen contaminantes como los metales pesados y las sustancias disueltas. La disposición de las aguas industriales, en el mejor de los casos, se realiza a bienes nacionales o al drenaje municipal después de haber sido tratadas para lograr que su composición y caudal cumplan con las normas mexicanas NOM-001-SEMARNAT-2021 y NOM-002-SEMARNAT-1996.

Es así que al final del camino, en el drenaje municipal van mezcladas las aguas grises, aguas negras y aguas industriales tratadas. En las grandes urbes, el agua de drenaje se conduce hasta plantas de tratamiento de agua residual que se diseñan para eliminar compuestos orgánicos, provenientes de aguas grises y negras principalmente, asumiendo que las aguas de origen industrial ya han sido tratadas y no contienen ninguno de los contaminantes regulados en la normatividad ambiental. Si no se hiciera esto la acumulación de agua residual causaría daños graves a la población y a los sitios en donde quede almacenada o sea dispuesta.



Ante esta realidad, se puede identificar que la mayor parte del agua procedente de las labores domésticas y de procesos industriales se genera en las grandes ciudades y que el servicio de tratamiento de agua pretende retornar el agua a una calidad al menos similar a la de la fuente de donde se tomó para potabilizarla. De esta manera, desde mediados del siglo XX, en que se completaría el ciclo del agua en el que el ser humano la usa; sin embargo, no fue hasta que principios de 1980, en el Distrito de Irvine, California, Estados Unidos [2], que se estandarizó el uso de tubos de color morado para conducir el agua tratada para distribuirla a jardines, construcción y usos industriales que pueden utilizarla en procesos. A partir de esta propuesta, fue aceptado internacionalmente el color morado para distinguir la conducción de agua recuperada de las plantas de tratamiento de agua que la producen. En México, el agua del tubo morado es ya un producto comercial según lo han informado los organismos operadores en Monterrey y San Luis Potosí, poniendo el ejemplo para todas las ciudades que cuentan con plantas que producen agua de reúso que cumple la NOM-003-SEMARNAT-1997. A la fecha, ciudades como León, Guanajuato, y El Salto, Jalisco [3], han instalado ya redes de distribución de agua, inclusive innovando en los fraccionamientos, en donde las casas tendrán tubería azul para el agua potable y tubería morada para el agua recuperada que se podrá utilizar para regar y realizar labores de limpieza externa. Otra ciudad que está buscando unirse al programa de red morada para distribuir y comercializar el agua recuperada, es Tijuana. Simultáneamente al "proyecto morado" se inició el reúso de agua para cultivo de viñedos, que consistió en instalar una hectárea de uva *cabernet sauvignon*, en una de sus plantas de tratamiento de agua. Uniendo esfuerzos, profesores del Instituto Tecnológico de Tijuana, autoridades de la Comisión Estatal de Servicios Públicos de Tijuana y propietario de una vinícola en el Valle de Guadalupe pusieron a prueba el riego del viñedo



experimental con agua recuperada (agua morada). En dicho viñedo se cultiva desde hace 12 años y se produce vino "La Morita" que cumple con la misma calidad de los vinos cultivados en el Valle de Guadalupe. Este es un ejemplo de adaptación del agua recuperada al reúso de agua, pues si bien la mezcla de aguas que componen el agua residual es una mezcla compleja, se ha logrado demostrar que el agua recuperada es un producto y se puede comercializar al mismo tiempo que disminuir la demanda de agua potable por un sector de la población. Con esto se puede extender el servicio a un mayor número de personas.

Por otra parte, se abre la posibilidad de no mezclar las corrientes de agua gris y agua tratada industrial con el agua negra y buscar su reúso; sin embargo, esta estrategia requiere de evaluaciones técnicas y tecnológicas para hacer un cambio de paradigmas progresivo y paulatino que no perjudique a la población, sino que la beneficie.

### **c) Justificación**

Así como existen problemáticas comunes en los campus del TecNM, también es importante reconocer que las zonas geográficas tienen diferencias radicales en cuanto a clima a infraestructura para el tratamiento de agua. En cuanto a las primeras, sucede que en los campus que están ubicados en la parte baja de laderas y cerros, el agua de lluvia se mezcla con drenajes de zonas habitacionales, lo que impide la recuperación de agua de lluvia. Por otra parte, la suficiencia del agua para los servicios de los campus está seriamente comprometida. Es así como en todos los campus donde existe el problema de lluvias torrenciales y zonas habitacionales que no cuentan con drenaje o en donde el drenaje se fractura, se requiere el tratamiento y recuperación del agua para poder reutilizarla. Otra problemática es la desembocadura de agua contaminada



hacia canales que conducen a ríos y arroyos, problema que acaba por destruir fauna y flora de los lugares por donde pasa el río y por supuesto la pérdida de fuentes naturales de agua. De manera unánime, los representantes de los campus que participaron en el eje temático de Recuperación y Reúso de agua coincidieron en lo siguiente:

- Vinculación entre los campus del TecNM para fortalecer el conocimiento relativo a las tecnologías de recuperación y reúso de agua que puedan ayudar a recuperar agua y a remediar la contaminación de ríos y arroyos.
- Vinculación entre los campus del TecNM y las empresas locales para prestar servicios de asesoría y de análisis de agua para mejorar las labores principalmente agrícolas y ganaderas.
- Búsqueda de recursos financieros para poder llevar a cabo proyectos de recuperación y reúso de agua.
- Mejoramiento de la educación ambiental y de uso de agua para toda la comunidad TecNM.

Todo lo anterior requiere de una organización para diagnosticar, ordenar y compartir el conocimiento que poseen las comunidades de los diferentes campus. Además, por la alta demanda de agua potable tanto en viviendas, agricultura, ganadería y procesos industriales, es evidente que se vislumbra una escasez originada por el aumento de población. Esta situación invita a todos los profesores y alumnos del TecNM a tomar conciencia y en la medida de sus posibilidades contribuir a conservar el ciclo natural del agua armonizando el ciclo humano del agua.



#### d) Objetivos, metas, acciones e indicadores

Los objetivos, metas, acciones e indicadores del eje estratégico No. 5 recuperación y reúso del agua de la agenda estratégica del TecNM Agua limpia y saneamiento, se citan en la Tabla 12.

**Tabla 12.** Objetivos, metas, acciones, indicadores y fechas compromiso del eje estratégico No. 5 recuperación y reúso del agua

Objetivos	Metas	Acciones	Indicadores	Fecha compromiso
1. Realizar una evaluación del estado del arte que tiene el TecNM en el tema de Recuperación y Reúso de Agua.	Catálogo de fortalezas del TecNM en el eje de Recuperación y Reúso de Agua	Clasificar las respuestas obtenidas a través del cuestionario diagnóstico	Porcentaje de profesores y proyectos dedicados al eje de Recuperación y Reúso de Agua	Agosto 2023
2. Iniciar una base de datos, sobre la Recuperación y el Reúso del agua, en los campus del TecNM, que se actualice en tiempo real	Documento digital y software de consulta sobre el tema y el lugar en donde se encuentra el campus del TecNM, a fin de que empresas que requieran el servicio puedan consultar con expertos en	Elaborar análisis de respuestas dadas por los maestros que realicen investigación relativa al eje de Recuperación cuando para dar inicio a la selección y definición de rubros de clasificación y consulta digital.	Registro de colaboraciones interinstitucionales a raíz del inicio de la base de datos.	Diciembre 2023



	la Recuperación y Reúso de Agua			
3. Incluir en el temario del curso de Desarrollo Sustentable los conceptos básicos de Recuperación y Reúso de Agua, así como la importancia de cuidar el agua y mejorar los hábitos de uso	Que los egresados del TecNM tengan la capacitación del cuidado del agua y su uso y reúso eficiente, haciendo valer su tiempo y dedicación a través del curso de Desarrollo Sustentable.	Revisar y actualizar el temario del curso de Desarrollo Sustentable para que incluya los temas de cuidado, recuperación y reúso del agua.	Evaluación del impacto del nuevo curso de Desarrollo Sustentable	Abril 2024
4. Incluir el módulo de Recuperación y Reúso de agua en el Diplomado que se planea crear en el TecNM	Contribuir a la formación de especialistas en el tema de Recuperación y Reúso de Agua	Armar el temario del módulo de Recuperación y Reúso de agua incluyendo casos prácticos	Eficiencia terminal del diplomado- Resultado de las encuestas de evaluación docente	Diciembre 2023
5. Crear una convocatoria para que los investigadores del TecNM diseñen	Concurso por fondos de investigación para desarrollar	Redactar las bases y términos de referencia de la convocatoria.	Número de personas participando en un proyecto/número de proyectos presentados.	Julio 2023



<p>prototipos innovadores para mejorar la calidad del agua recuperada tanto en las plantas industriales, como en las plantas de acondicionamiento de agua residual, a fin de hacerla apta y confiable para regar hortalizas y cultivos de productos alimenticios, labores de limpieza de baños y pisos.</p>	<p>ideas y nuevos prototipos para mejorar la calidad del agua recuperada.</p>	<p>Apoyar mediante fondos de investigación a los mejores proyectos presentados en la convocatoria</p>	<p>Número de proyectos/Número de Institutos Tecnológicos</p>	
<p>6. Evaluar la calidad del agua recuperada de plantas de tratamiento de agua residual ubicadas en los campus o más cercana a cada campus del TecNM, con el fin de definir el tipo de reúso que se les puede dar</p>	<p>Contar con datos que puedan servir de apoyo a los campus que requieran para iniciar su dinámica de trabajo en el tema del reúso del agua tratada.</p>	<p>Realizar las pruebas de calidad de agua a las muestras provenientes de PTAR locales  Comunicar sus resultados a través de un sistema de adquisición de datos en línea.</p>	<p>Número de institutos tecnológicos que cuentan con un registro de calidad de agua tratada en sus campus o en plantas cercanas</p>	<p>Diciembre 2023</p>
<p>7. Conjuntar un grupo de expertos del TecNM que</p>	<p>Que todos los campus del TecNM se</p>	<p>Agendar sesiones de trabajo con el</p>	<p>Número de asesorías prestadas por el</p>	<p>Diciembre 2023</p>



pueda asesorar a los campus del TecNM para armar su plan de trabajo referente a la Recuperación y Reúso de Agua	sumen a la Recuperación y Reúso de Agua para dar ejemplo a otras instituciones y a la población	grupo de expertos para dar asesorías en línea	grupo de expertos del TecNM	
---	---	---	-----------------------------	--

### e) Bibliografía

[1] <http://sapam.gob.mx/site/aguas-grises-como-mecanismos-de-reduccion-del-consumo-personal-del-agua/#:~:text=La%20reutilizaci%C3%B3n%20de%20aguas%20grises,se%20usan%20para%20la%20jardiner%C3%ADa.>

[2] <https://www.irwd.com/liquid-news/the-true-tale-of-how-irwd-set-a-standard-for-recycled-water>

[3] <https://www.jalisco.gob.mx/es/prensa/noticias/156492>



**AGENDA ESTRATÉGICA  
DEL TecNM**  
"AGUA LIMPIA Y SANEAMIENTO"

# Eje Estratégico No. 6

## Monitoreo de la Calidad del Agua



**TECNOLÓGICO  
NACIONAL DE MÉXICO**





### **3.1.6 Eje Estratégico No. 6: Monitoreo de la calidad del agua**

El TecNM campus Aguascalientes es el coordinador del eje estratégico de **monitoreo de la calidad del agua**. La introducción, antecedentes, justificación, objetivos, metas, acciones e indicadores del eje estratégico se citan en la siguiente sección.

#### **a) Introducción**

La calidad de un ambiente acuático se puede definir como una lista de concentraciones, especificaciones y aspectos físicos de sustancias orgánicas e inorgánicas, y la composición y el estado de la biota acuática presente en el cuerpo de agua [1-2]. La calidad del agua presenta variaciones espaciales y temporales, debido a factores internos y externos. Por lo tanto, la calidad del agua superficial o subterránea depende tanto de factores naturales como de las diversas actividades de los seres humanos. Específicamente, la descarga de compuestos químicos tóxicos, la sobreexplotación de acuíferos, el transporte de contaminantes atmosféricos de largo alcance y la contaminación de los cuerpos de agua con sustancias que promueven el crecimiento de algas (eutrofización), son algunas de las principales causas de la degradación de la calidad del agua [3].

La descripción de la calidad del agua puede realizarse midiendo variables físicas, químicas y biológicas o utilizando un índice de la calidad del agua (ICA) [1, 3-4]. Sin embargo, la calidad del agua es una característica que no se puede definir fácilmente, ya que afecta a todos los componentes de un ecosistema y el agua adecuada y deseable para el uso de un organismo puede ser completamente inadecuada para otro. En este sentido, es relevante mencionar que muchos países en el mundo usan las guías para



la calidad del agua de consumo humano publicadas por la Organización Mundial de la salud (OMS), con la finalidad de establecer estándares nacionales de agua potable [5]. Por ejemplo, en México, existe la Norma Oficial Mexicana para el agua de uso y consumo humano (NOM-127-SSA1-2021), que establece los límites permisibles de la calidad del agua [6]. Además, México también cuenta con Normas Oficiales como la NOM-001-SEMARNAT-2021, que establece los límites permisibles de contaminantes en las descargar de aguas residuales en cuerpos receptores propiedad de la nación [7], la NOM-002-SEMARNAT-1996 que establecen los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal [8] y la NOM-003-SEMARNAT-1997 que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público [9]. No obstante, a la fecha, solo existe un laboratorio acreditado ante la Entidad Mexicana de Acreditación como laboratorio de ensayo en la rama de agua, el cuál emite resultados confiables de la calidad del agua de acuerdo con estándares mexicanos (NMX). En este sentido, es importante resaltar que hay un área de oportunidad importante para todos los laboratorios de los diversos campus del TecNM que deseen acreditar sus laboratorios con la finalidad de determinar la calidad del agua potable y residual, en los diversos estados de la República Mexicana.

## **b) Antecedentes**

Desde el año 1958 la Organización Mundial de la Salud (OMS) ha publicado estándares internacionales de agua potable, que posteriormente fueron denominados "*Guías para la calidad del agua potable*", las cuales buscan mejorar la calidad del agua potable y la salud humana, al ser usadas como



base para la regulación de los estándares de agua potable en los países alrededor del mundo. En este sentido, es importante mencionar que, de acuerdo con la última guía de la OMS (cuarta Edición), las Normas sobre la calidad del agua para uso y consumo humano pueden diferir, en naturaleza y forma, entre los países y regiones [5]. Por lo tanto, no existe un método único que pueda aplicarse de forma universal y en la aplicación de normas es fundamental tener en cuenta las leyes vigentes relativas al agua, a la salud y al gobierno local. Adicionalmente, para desarrollar un marco reglamentario, es fundamental que cada país examine sus necesidades y capacidades. En este contexto, es relevante mencionar que el territorio de México es de 1964 millones de kilómetros cuadrados (km<sup>2</sup>), de los cuales 1959 millones corresponden a la superficie continental y el resto a las islas. Por su ubicación geográfica, las dos terceras partes del territorio se consideran áridas o semiáridas, con precipitaciones inferiores a 500 mm, mientras que un tercio (el sureste) es húmedo, con precipitaciones anuales superiores a 2000 mm por año [10]. En este contexto, el porcentaje de agua usada para el consumo humano en relación con el agua renovable es un indicador del grado de estrés hídrico en un país, en una cuenca o en una región [10]. Específicamente, estudios recientes reportan que la zonas central, norte y noroeste de México experimentan un alto estrés hídrico y esta situación propicia una sobreexplotación de los mantos acuíferos y, por ende, existe un deterioro de la calidad del agua con presencia de diferentes contaminantes como metales pesados, fluoruros, fosfatos, etc. Por ejemplo, algunas investigaciones han reportado concentraciones altas de fluoruros, arsénico, mercurio, cromo, hierro, manganeso y plomo, en el agua subterránea de los estados de Aguascalientes y Zacatecas [11]. En otra investigación, se estudió el sistema de agua subterránea de Atemajac-Toluquilla (Guadalajara), donde se observó la presencia de litio,



manganeso, bario y magnesio, destacando el manganeso con una concentración de 0.33 mg/L, la cual excede el límite de concentración que establece la norma de agua para uso y consumo humano (NOM-127-SSA1-2021) [12]. También varios trabajos a lo largo de los años han demostrado que el agua del principal acuífero de la comarca lagunera se encuentra contaminado con especies como fluoruros, arsénico, sulfatos y nitratos [13-14]; donde las concentraciones de dichas especies exceden el límite de concentración establecido por la normatividad Mexicana (NOM-127-SSA1-2021). Además, la presencia inusual de cromo fue detectada en las aguas subterráneas del Valle de León (México), donde específicamente se identificaron dos fuentes de contaminación antropogénicas y una fuente natural, debido a la presencia de rocas ultra-básicas que afloran en la Sierra de Guanajuato [15]. Finalmente, es importante mencionar que existen muchos otros artículos científicos que reportan la contaminación con arsénico y fluoruros del agua para beber en Estados como Baja California Sur, Coahuila, Chihuahua, Durango, Guanajuato, Nuevo León, Querétaro, San Luis Potosí, Sonora y Zacatecas [16-17].

Tomando en cuenta los antecedentes descritos anteriormente, surge la necesidad de monitorear la calidad del agua para beber de la población mexicana, para evitar problemas de salud pública. Además, con la finalidad de reutilizar el agua residual tratada para disminuir el estrés hídrico, es importante también monitorear la calidad del agua residual con la finalidad de que cumpla con la Normatividad Mexicana vigente.

### **c) Justificación**

El 28 de julio de 2010, la Asamblea General de las Naciones Unidas reconoció el derecho humano al agua y al saneamiento. Específicamente, la observación general No. 15 del Comité de Derechos Económicos,



Sociales y Culturales de las Naciones Unidas (Comité DESC) señala que el agua es un recurso natural limitado y un bien público fundamental para la vida y la salud [18]. No obstante, en la actualidad, miles de millones de personas no disponen de agua de calidad suficiente para uso y consumo humano [19]. En este sentido, es relevante mencionar que para determinar la calidad del agua es necesario medir los principales parámetros físicos (color, turbidez, temperatura, sólidos en suspensión, espuma y radiactividad), químicos (compuestos orgánicos e inorgánicos), fisicoquímicos (sabor y olor) y biológicos (virus, protozoarios, bacterias y helmintos, y/o presencia de nutrientes que causan eutrofización) del vital líquido [20]. Específicamente, en México, existen diferentes estándares (NMX) que indican los procedimientos que se deben seguir para la determinar los principales parámetros físicos, químicos y biológicos del agua. No obstante, solo los laboratorios que se encuentran acreditados bajo la norma NMX-EC-17025-IMNC-2018 (*Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración*), siguen al pie de la letra los procedimientos de los estándares (NMX). En este contexto, se debe resaltar que la mayoría de los laboratorios acreditados en México son particulares y solo existe un laboratorio acreditado del TecNM ante la Entidad Mexicana de Acreditación como laboratorio de ensayo en la rama de agua (*Laboratorio de Investigación-Análisis de Aguas Industriales del Instituto Tecnológico de Aguascalientes*). Por lo tanto, existe una gran área de oportunidad para todos los laboratorios de los diversos campus del TecNM que deseen acreditarse y que quieran brindar un servicio de análisis de calidad del agua confiable que pueda impactar en el cumplimiento de la Normatividad Mexicana vigente en materia de agua.



#### d) Objetivos, metas, acciones e indicadores

Los objetivos, metas, acciones e indicadores del eje estratégico No. 6 monitoreo de la calidad del agua de la agenda estratégica del TecNM Agua limpia y saneamiento, se citan en la Tabla 13.

**Tabla 13.** Objetivos, metas, acciones, indicadores y fechas compromiso del eje estratégico No. 6 monitoreo de la calidad del agua

Objetivos	Metas	Acciones	Indicadores	Fecha compromiso
1. Conformar una red de laboratorios de ensayo acreditados bajo la norma NMX-EC-17025-IMNC-2018 en la rama de agua en el TecNM	Contar con una red de al menos 3 laboratorios en las regiones norte, centro y sur de nuestro país	Detección de capacidades de infraestructura física y humana en los laboratorios de agua de los diferentes campus del TecNM  Capacitación del personal en términos de la norma NMX-EC-17025-IMNC-2018.	Laboratorios acreditados  Personal capacitado	Diciembre 2025
2. Determinar las fortalezas técnico-científicas de los diversos campus del TecNM con	Obtener un diagnóstico de los posibles laboratorios que se pudieran acreditar como	Aplicación de una encuesta para determinar que laboratorios estarían en posibilidad de acreditarse en	Resultados de la encuesta técnico-científica e identificación de los	30 de junio de 2023



respecto a infraestructura, equipamiento y personal especializado en temas de agua.	laboratorios de ensayo en la rama de agua.	parámetros específicos para fortalecer los laboratorios del TecNM en el análisis de la calidad del agua	posibles laboratorios susceptibles a acreditarse	
3. Despliegue de un diplomado en el que se incluya el tema de la calidad del agua	Diplomado a impartirse en los diferentes campus del TecNM	Conformar una base de datos de expertos en temas de agua  Conjuntar un grupo de trabajo para la revisión del temario.	Diplomado impartido	Enero 2024
4. Elaboración de un módulo de especialidad que integre el tema de calidad del agua y saneamiento	Módulo de especialidad	Conformar una base de datos de expertos en temas de agua  Análisis del entorno en los diversos campus del TecNM donde pudiera ser implementada la especialidad.	Módulo de especialidad diseñado	Enero 2024
5. Conformar y registrar un Laboratorio Nacional de Agua Limpia	Obtener el Reconocimiento como Laboratorio	Conformar el grupo de trabajo y formalizar la colaboración	Convenios de colaboración entre las Instituciones	Agosto 2023



y Saneamiento CONAHCYT	Nacional de CONAHCYT	interinstitucional.  Subir la solicitud al portal de CONAHCYT con los Anexos correspondientes.	s Participantes y Solicitud de Registro ante CONAHCYT	
------------------------------	-------------------------	--	--	--

### e) Bibliografía

- [1] Sierra-Ramírez, C. A. (2011). *Calidad del Agua, evaluación y Diagnóstico*, Bogotá Colombia: Ediciones de la U.
- [2] Mata, A. y Quevedo, F. (2005). *Diccionario Didáctico de Ecología*, San José Costa Rica: Editorial de la Universidad de Costa Rica.
- [3] Bartram, J. and Ballance R. (1996). *Water Quality Monitoring, A practical guide to the desing and implementation of freshwater quality studies and monitoring programmes*. Reino Unido: Taylor and Francis.
- [4] Han, X., Liu, X., Gao, D., Ma, B., Gao, X., & Cheng, M. (2022). Costs and benefits of the development methods of drinking water quality index: A systematic review. In *Ecological Indicators* (Vol. 144). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109501>
- [5] OMS, (2011). *Guías para la calidad del agua de consumo humano: cuarta edición que incorpora la primera adenda [Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating first adendum]*. Revisado, <https://www.who.int/publications/i/item/9789240045064>. (Acceso 17 de abril de 2023).
- [6] DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN, NORMA Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-2021, Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad del agua, 2021. Revisado, [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5650705&fecha=02/05/2022#gsc.tab=0](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5650705&fecha=02/05/2022#gsc.tab=0). (Acceso 17 de abril de 2023).
- [7] DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN, NORMA Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-2021, Que establece los límites permisibles de



- contaminantes en las descargas de aguas residuales en cuerpos receptores propiedad de la nación, 2021. Revisado, [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5645374&fecha=11/03/2022#gsc.tab=0](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5645374&fecha=11/03/2022#gsc.tab=0). (Acceso 17 de abril de 2023).
- [8] DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN, NORMA Oficial Mexicana NOM-002-ECOL-1996, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, 1998. Revisado, [https://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=4881304&fecha=03/06/1998#gsc.tab=0](https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4881304&fecha=03/06/1998#gsc.tab=0). (Acceso 17 de abril de 2023).
- [9] DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN, NORMA Oficial Mexicana NOM-003-ECOL-1997, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público, 1998. Revisado, [https://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=4893449&fecha=21/09/1998#gsc.tab=0](https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4893449&fecha=21/09/1998#gsc.tab=0). (Acceso 17 de abril de 2023).
- [10] Morán-Valencia, M., Flegl, M., & Güemes-Castorena, D. (2023). A state-level analysis of the water system management efficiency in Mexico: Two-stage DEA approach. *Water Resources and Industry*, 29. <https://doi.org/10.1016/j.wri.2022.100200>
- [11] González, F. J. A., López, E. M. R., Saldaña, Ma. C. M., Barrera, A. L. G., Juárez, F. J., & Sánchez, J. L. R. (2012). *Water Quality in the State of Aguascalientes and its Effects on the Population's Health* (pp. 217–229). [https://doi.org/10.1007/978-3-642-05432-7\\_16](https://doi.org/10.1007/978-3-642-05432-7_16)
- [12] Hernández-Antonio, A., Mahlkecht, J., Mora, A., Torres-Martínez, J. A., & Ramírez-Orozco, A. (2017). Geochemistry and Hydrothermal Contamination of the Atemajac-toluquilla Groundwater System (Guadalajara, Mexico). *Procedia Earth and Planetary Science*, 17, 822–825. <https://doi.org/10.1016/j.proeps.2017.01.051>
- [13] Mahlkecht, J., Aguilar-Barajas, I., Farias, P., Knappett, P. S. K., Torres-Martínez, J. A., Hoogesteger, J., Lara, R. H., Ramírez-Mendoza, R. A., & Mora, A. (2023). Hydrochemical controls on arsenic contamination and its health risks in the Comarca Lagunera region (Mexico): Implications of the scientific evidence for public health policy. *Science of the Total Environment*, 857. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159347>



- [14] Nava-Reyna, E., & Medrano-Macías, J. (2022). Arsenic occurrence in the environment: Current situation of the Comarca Lagunera in northern Mexico and bioremediation approaches. *Journal of Agriculture and Food Research*, 10. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2022.100379>
- [15] Robles-Camacho, J., & Armienta, M. A. (2000). Natural chromium contamination of groundwater at León Valley, México. *Journal of Geochemical Exploration*, 68. [https://doi.org/10.1016/S0375-6742\(99\)00083-7](https://doi.org/10.1016/S0375-6742(99)00083-7)
- [16] Alarcón-Herrera, M. T., Martín-Alarcon, D. A., Gutiérrez, M., Reynoso-Cuevas, L., Martín-Domínguez, A., Olmos-Márquez, M. A., & Bundschuh, J. (2020). Co-occurrence, possible origin, and health-risk assessment of arsenic and fluoride in drinking water sources in Mexico: Geographical data visualization. *Science of the Total Environment*, 698. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134168>
- [17] Jiménez-Córdova, M. I., Sánchez-Peña, L. C., Barrera-Hernández, Á., González-Horta, C., Barbier, O. C., & del Razo, L. M. (2019). Fluoride exposure is associated with altered metabolism of arsenic in an adult Mexican population. *Science of the Total Environment*, 684, 621–628. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.356>
- [18] Tejado Gallegos, M., & Olmos Pérez, A. (2014). El derecho humano al agua potable y saneamiento.
- [19] Bond, N. R., Burrows, R. M., Kennard, M. J., & Bunn, S. E. (2018). Water scarcity as a driver of multiple stressor effects. In *Multiple Stressors in River Ecosystems: Status, Impacts and Prospects for the Future* (pp. 111–129). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811713-2.00006-6>
- [20] Englande, A. J., Krenkel, P., & Shamas, J. (2015). Wastewater Treatment & Water Reclamation☆. In *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-409548-9.09508-7>



**AGENDA ESTRATÉGICA  
DEL TecNM  
"AGUA LIMPIA Y SANEAMIENTO"**



## **Eje Estratégico No. 7 Tecnologías emergentes**





### **3.1.7 Eje Estratégico No. 7: Tecnologías Emergentes**

El TecNM campus Valle de Etna es el coordinador del eje estratégico de **tecnologías emergentes**. La introducción, antecedentes, justificación, objetivos, metas, acciones e indicadores del eje estratégico se citan en la siguiente sección.

#### **a) Introducción**

Si algún día nos visitara Spock de Star Trek a nuestra civilización, probablemente pensaría que el ser humano es una especie de contrastes: más de 3,900 millones de personas en todo el mundo ya poseen un smartphone, mientras que unos 2,400 millones aún no tienen acceso a agua potable en sus hogares. Pero a pesar de esta paradoja, las tecnologías emergentes y un recurso tan indispensable como lo es el agua no están tan alejados; de hecho, el Gobierno Federal a través del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología ha creado el Programa Nacional Estratégico de Agua [1], donde uno de los objetivos es proponer soluciones novedosas al problema del agua y así garantizar que todo el pueblo mexicano tenga acceso a este líquido vital. En este sentido, las tecnologías emergentes como Inteligencia Artificial, Blockchain, Big Data, Internet de las Cosas, Nanotecnología, entre otras, están cobrando gran importancia para proponer soluciones novedosas para garantizar la soberanía hídrica [2, 3]. La importancia de estas tecnologías radica en que pueden ser aplicados en todas las áreas relacionadas con el agua. Por ejemplo, se pueden emplear para monitorear la calidad del agua, para el tratamiento de aguas residuales y agua potable, y para la captación de agua [4-6]. También, pueden ser aplicadas para toma de decisiones y para el análisis de la disponibilidad de este recurso en la superficie terrestre. Por lo tanto, la implementación de estas tecnologías en México es fundamental para



garantizar la calidad y cantidad de agua requerida para la población mexicana.

A nivel nacional, existen numerosos avances científicos y tecnológicos sobre el uso de las tecnologías emergentes para garantizar que todo el pueblo mexicano tenga acceso a este líquido vital. En esta misma dirección, en el Tecnológico Nacional de México (TecNM), existen diferentes grupos de investigación enfocados en el uso o mejora de las tecnologías emergentes para abordar los diferentes problemas asociados al agua. Por lo tanto, este eje estratégico busca articular las fortalezas de los diferentes campus del TecNM para generar conocimiento y tecnología de frontera sobre las diferentes problemáticas relacionadas con el agua, y al mismo tiempo formar recursos humanos altamente calificados sobre tecnologías emergentes aplicados al agua.

## **b) Antecedentes**

Las tecnologías emergentes son de gran interés para las diferentes áreas del conocimiento como salud, soberanía alimentaria, agua, educación, vivienda, energía, cambio climático, seguridad humana, entre otros. En el caso del agua, estas tecnologías han sido ampliamente estudiadas y aplicadas para garantizar que este líquido vital llegue a todos los hogares. A continuación, se describen de forma general algunas aplicaciones de estas tecnologías para abordar los problemas relacionados con el agua y así asegurar la soberanía hídrica.

1.- La Inteligencia Artificial: Esta tecnología utiliza el aprendizaje profundo por redes neuronales parecidas a las del cerebro [7], la cual tiene diversas aplicaciones para abordar los problemas relacionados con el agua como el monitoreo de la calidad de agua y distribución de este recurso en la



superficie terrestre. Por ejemplo, la inteligencia artificial se está utilizando para analizar imágenes y detectar la presencia de ciertos elementos tóxicos o contaminantes en el agua [8].

2.- Blockchain: El Blockchain se puede definir como una estructura matemática para almacenar datos de una manera que es casi imposible de falsificar. Esta tecnología puede ser aplicada a diversos problemas del agua como el manejo de sistemas y datos hídricos [9, 10]. Como ejemplo de la aplicación de Blockchain al agua, se puede mencionar que se ha utilizado para la gestión del agua y para abordar la sostenibilidad ambiental. [11].

3.- Internet de las Cosas y Big Data: El análisis de big data es un nuevo término técnico para la recopilación de grandes cantidades de datos relevantes a partir de sensores inteligentes implementados para rastrear el estado físico, el uso y la calidad de un determinado sistema. En la gestión del agua, se ha documentado el uso de medidores inteligentes para informar sobre su calidad, temperatura, pH, etc., del agua [12-15].

4.- Nanotecnología: Con nanotecnología se pueden obtenerse nuevos nanomateriales o nanodispositivos con mejores propiedades y característica mejoradas [16-18]. La nanotecnología puede ser aplicado para monitorear la calidad del agua, tratar aguas residuales, purificar agua potable, captar agua, detectar y adsorber metales pesados y tóxicos del agua, entre otras [19]. Un ejemplo muy conocido en el uso de la nanotecnología aplicado para el tratamiento de aguas de residuales mediante fotocatalisis, aquí se han propuesto números semiconductores nanoestructurados que permitan llevar a cabo el proceso fotocatalítico de forma eficiente y así garantizar el tratamiento o purificación del agua [20].



### c) Justificación

El agua es un elemento esencial para la existencia de vida en nuestro planeta. Todos los seres vivos, somos en mayor parte agua y necesitamos consumirla de forma continua para vivir. Es por ello, que la humanidad ha almacenado y distribuido agua prácticamente desde sus orígenes y esto no cambiara hasta el fin de nuestra existencia. Desde las primeras técnicas de almacenamiento, limpieza y distribución hasta las infraestructuras y tecnologías actuales para el tratamiento de aguas, reciclado de aguas y depuración de aguas ha transcurrido una larga historia, ahora con los cambios climáticos, contaminación y la sobrepoblación se busca efficientizar y generar nuevos sistemas de recolección, almacenamiento y purificación del agua. Por lo tanto, con el desarrollo de las nuevas tecnologías emergentes se podrá garantizar agua limpia para todos.

### d) Objetivos, metas, acciones e indicadores

Los objetivos, metas, acciones e indicadores del eje estratégico No. 7 tecnologías emergentes de la agenda estratégica del TecNM Agua limpia y saneamiento, se citan en la Tabla 14.

**Tabla 14.** Objetivos, metas, acciones, indicadores y fechas compromiso del eje estratégico No. 7 "Tecnologías emergentes"

Objetivos	Metas	Acciones	Indicadores	Fecha compromiso
1. Identificar los recursos humanos con los que cuenta el TecNM sobre	Contar con un catálogo de los investigadores dedicados a la generación de	Aplicación de una encuesta para identificar a los investigadores	Número de investigadores dedicados al desarrollo de las tecnologías	Agosto 2023



tecnologías emergentes aplicados al agua	conocimiento de frontera sobre tecnologías emergentes aplicados al agua	dedicados a las tecnologías emergentes para el agua	emergentes para el agua	
2. Identificar los laboratorios y equipamientos disponibles en el TecNM para desarrollar tecnologías emergentes para el agua	Obtener información sobre los laboratorios y equipamientos con que cuentan los diferentes campus del TecNM para desarrollar tecnologías emergentes para el agua	Aplicación de una encuesta para obtener los laboratorios y equipamientos disponibles en el TecNM para el desarrollo de las tecnologías emergentes para el agua	Obtención del número de laboratorio y los equipamientos con que cuenta el TecNM para desarrollar tecnologías emergentes para el agua	Agosto 2023
3. Crear un diplomado sobre agua limpia y saneamiento en conjunto con los otros siete ejes estratégicos	Diplomado a impartirse en los diferentes campus del TecNM y para el público en general	Desarrollar el contenido temático del diplomado con los expertos del TecNM en temas del agua	Diplomado impartido	Enero 2024
4. Implementar la Línea de Generación y	Los programas de posgrado afines al agua	Conformar una base de datos de los	Línea de Generación y Aplicación del	Enero 2024



Aplicación del Conocimiento en tecnologías emergentes para el agua en los programas de maestría y doctorado afines.	tengan una Línea de Generación y Aplicación del Conocimiento en tecnologías emergentes del agua	programas de posgrado afines al agua  Desarrollar el contenido temático de la Línea de Generación y Aplicación del Conocimiento	Conocimiento en tecnologías emergentes para el agua	
5. Implementar una unidad de monitoreo tecnológico y bases de datos para conocer la distribución del recurso hídrico en el país.	Contar con una unidad de monitoreo y base de datos en tiempo real sobre para la distribución del recurso hídrico en el país.	Analizar la base de datos para conocer la distribución de agua en el país.	Base de datos de la distribución del agua en la en el país.	Agosto 2024

### e) Bibliografía

- [1] "Agua - Conacyt." <https://conacyt.mx/pronaces/pronaces-agua/> (accessed Apr. 23, 2023).
- [2] Manoj, M., Dhilip Kumar, V., Arif, M., Bulai, E. R., Bulai, P., & Geman, O. (2022). State of the art techniques for water quality monitoring systems for fish ponds using iot and underwater sensors: A review. *Sensors*, 22, 2088.



- [3] Ahmed, U., Mumtaz, R., Anwar, H., Mumtaz, S., & Qamar, A. M. (2020). Water quality monitoring: from conventional to emerging technologies. *Water Supply*, 20, 28-45.
- [4] Bolisetty, S., Peydayesh, M., & Mezzenga, R. (2019). Sustainable technologies for water purification from heavy metals: review and analysis. *Chemical Society Reviews*, 48(2), 463-487
- [5] Banna, M. H., Imran, S., Francisque, A., Najjaran, H., Sadiq, R., Rodriguez, M., & Hoorfar, M. (2014). Online drinking water quality monitoring: review on available and emerging technologies. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 44, 1370-1421.
- [6] Hasanbeigi, A., & Price, L. (2015). A technical review of emerging technologies for energy and water efficiency and pollution reduction in the textile industry. *Journal of Cleaner Production*, 95, 30-44.
- [7] Hunt, E. B. (2014). *Artificial intelligence*. Academic Press.
- [8] Alam, G., Ihsanullah, I., Naushad, M., & Sillanpää, M. (2022). Applications of artificial intelligence in water treatment for optimization and automation of adsorption processes: Recent advances and prospects. *Chemical Engineering Journal*, 427, 130011.
- [9] Dogo, E. M., Salami, A. F., Nwulu, N. I., & Aigbavboa, C. O. (2019). Blockchain and internet of things-based technologies for intelligent water management system. *Artificial intelligence in IoT*, 129-150.
- [10] Xia, W., Chen, X., & Song, C. (2022). A framework of blockchain technology in intelligent water management. *Frontiers in Environmental Science*, 10, 753.
- [11] Sriyono, E. (2020). Digitizing water management: Toward the innovative use of blockchain technologies to address sustainability. *Cogent Engineering*, 7, 1769366.



- [12] Wong, Y. J., Nakayama, R., Shimizu, Y., Kamiya, A., Shen, S., Rashid, I. Z. M., & Sulaiman, N. M. N. (2021). Toward industrial revolution 4.0: Development, validation, and application of 3D-printed IoT-based water quality monitoring system. *Journal of Cleaner Production*, 324, 129230.
- [13] Zeng, H., Dhiman, G., Sharma, A., Sharma, A., & Tselykh, A. (2023). An IoT and Blockchain-based approach for the smart water management system in agriculture. *Expert Systems*, 40, e12892.
- [14] Jan, F., Min-Allah, N., & Düştegör, D. (2021). IoT based smart water quality monitoring: Recent techniques, trends and challenges for domestic applications. *Water*, 13, 1729.
- [15] Nie, X., Fan, T., Wang, B., Li, Z., Shankar, A., & Manickam, A. (2020). Big data analytics and IoT in operation safety management in under water management. *Computer Communications*, 154, 188-196.
- [16] Evans, J., & Chichester, U. K. (2009). Five big ideas for nanotechnology. *Nature Medicine*, 15, 348.
- [17] Glotzer, S. C. (2012). Shape matters. *Nature*, 481, 450-452.
- [18] Mobasser, S., & Firoozi, A. A. (2016). Review of nanotechnology applications in science and engineering. *J Civil Eng Urban*, 6, 84-93.
- [19] Ajith, M. P., Aswathi, M., Priyadarshini, E., & Rajamani, P. (2021). Recent innovations of nanotechnology in water treatment: A comprehensive review. *Bioresource Technology*, 342, 126000.
- [20] Ahmed, S. N., & Haider, W. (2018). Heterogeneous photocatalysis and its potential applications in water and wastewater treatment: a review. *Nanotechnology*, 29(34), 342001.



**AGENDA ESTRATÉGICA  
DEL TecNM**  
"AGUA LIMPIA Y SANEAMIENTO"

**Eje Estratégico (Transversal) No. 8**  
**Educación y Capacitación**





### **3.1.8 Eje Estratégico No. 8 (Transversal): Educación y Capacitación**

El eje estratégico No. 8 (**Educación y capacitación**) es un eje transversal y es coordinado por el campus Aguascalientes. Además, cuenta con la participación de todos los campus que coordinan los 7 ejes temáticos. A continuación, se describe una breve introducción del eje de educación y capacitación, los antecedentes, justificación, objetivos, metas, acciones e indicadores de este eje.

#### **a) Introducción**

Desde siempre el ser humano ha interactuado con el medio ambiente y en esta interacción lo ha modificado y provocado problemas ambientales. Hoy en día, la severidad de problemas ambientales, en especial los vinculados con temas hídricos, nos obligan a trabajar para su atención y solución.

Lo anterior implica desarrollar soluciones innovadoras para reencauzar nuestra relación con el planeta. Al hablar de soluciones ambientales no sólo nos referimos a la tecnología, sino al reforzamiento de los valores de la sociedad. La educación ambiental es una herramienta fundamental para lograrlo; es más que sólo información sobre el ambiente. Entraña un mayor involucramiento en la resolución de problemas y tomar medidas para mejorar el medio ambiente por parte de los diferentes sectores de la población, con base en decisiones informadas y responsables [1].

El agua es un elemento clave de la naturaleza para el desarrollo y evolución de la humanidad, por lo que es fundamental para el sostenimiento de la vida en nuestro planeta. Por ello, es de suma importancia comprender lo esencial de este vital líquido, lo que implica tenerlo en cantidad y calidad



suficientes para las generaciones actuales y futuras, garantizando un uso sostenible.

La Cultura del Agua es un conjunto de valores, actitudes, costumbres y hábitos que son transmitidos a un individuo o una sociedad para crear una consciencia responsable sobre el uso racional, la importancia del agua para el desarrollo de todo ser vivo, la disponibilidad del recurso en su entorno y las acciones necesarias para obtenerla, distribuirla, desalojarla, limpiarla y reutilizarla [1]. Esta cultura lleva consigo el compromiso de valorar y preservar el recurso, utilizándolo con responsabilidad en todas las actividades, en un esquema de desarrollo sustentable. Estas acciones buscan sensibilizar a la población y motivarla para tomar actitudes que fomenten el uso responsable del recurso y crear consciencia sobre su importancia. Por otro lado, se ha venido fortaleciendo el mensaje de que todos (ciudadanía, gobierno y en general todos los sectores) debemos asumir nuestra responsabilidad en el cuidado y la preservación del agua, de forma permanente.

## **b) Antecedentes**

A partir de la década de los noventa del siglo pasado, derivado del alto índice de enfermedades gastrointestinales asociadas al consumo de agua no potable en México, la Comisión Nacional del Agua a través de la Coordinación General de Comunicación y Cultura del Agua, implementó acciones en materia de cultura del agua y de educación formal y no formal, con diversos objetivos y aproximaciones. La intención es impulsar un cambio positivo y proactivo en la participación individual y social en torno al uso sustentable del agua, para no afectar a las siguientes generaciones. Dichas acciones buscan tener un carácter permanente, no obstante limitantes presupuestales y programáticas impiden tener esa presencia



constante e integral que se requiere a través de todos los agentes transformadores de la cultura [1].

La educación hídrica en jóvenes busca integrar al agua como un componente importante en los planes y programas de estudios de la educación superior [2]. El eje de educación y capacitación de la agenda estratégica de TecNM agua limpia y saneamiento contempla que durante la implementación de estas actividades se trabaje de forma especial con organizaciones asociadas con la misión de mejorar la educación hídrica en los planteles. Las importantes acciones comprendidas en esta área focal están relacionadas con el desarrollo de herramientas mejoradas para la enseñanza de los aspectos relacionados con el agua dentro de los planes y programas educativos. De igual manera, el eje aborda el desarrollo o mejora de las capacidades de los maestros y educadores no formales para una mejor comprensión de los temas relacionados con el agua a nivel local, regional y global, así como un compromiso con la ética del agua. De ahí la necesidad de dedicar esfuerzos hacia el desarrollo de sus capacidades para comunicarse tanto con sus alumnos como con la comunidad y ser guías en los temas y acciones relacionados con el agua.

### **c) Justificación**

En el último siglo, la demanda de agua a nivel mundial ha aumentado debido a la alta tasa de crecimiento demográfico, la rápida urbanización, el desarrollo económico y las modalidades cambiantes de consumo. Además, esta demanda se intensifica con el cambio climático y los fenómenos meteorológicos extremos que cada vez son originados con más frecuencia como sequías e inundaciones [3].



La participación de las y los jóvenes en la protección de los ecosistemas acuáticos puede y debe ser clave en dos sentidos. En primer lugar, porque en el futuro próximo serán las personas a cargo de la gestión de los territorios en donde se encuentran estos ecosistemas, por una cuestión simple de relevo generacional; en segundo lugar, por su relevante papel en el activismo medioambiental que persigue la protección y cuidado de los ecosistemas. La gestión sostenible de los recursos hídricos será viable si a la par de los conocimientos técnicos y los de las culturas a las que pertenecen las y los jóvenes, los procesos educativos incorporan el enfoque de desarrollo sostenible desde la educación básica, haciendo de este un estilo de vida que incorpore los derechos humanos, el valor de la diversidad cultural y el cuidado del planeta.

De la mano de la educación para el desarrollo sostenible, se puede avanzar en la gestión sostenible y el uso eficiente de los recursos naturales, el agua entre ellos, fomentando con ello, que las y los jóvenes participen efectivamente en la conservación y restablecimiento de los ecosistemas que proveen de este recurso.

La oportunidad que las y los jóvenes tienen para ser protagonistas efectivos en la implementación de la Agenda estratégica del TecNM, puede verse a través de una serie de eslabonamientos en donde la provisión de bienes básicos como el agua limpia y el saneamiento adecuado, además de factores estratégicos como la educación para el desarrollo sostenible, pueden posicionar a las juventudes en el centro de las estrategias de sostenibilidad ambiental, social y económica [4].



#### d) Objetivos, metas, acciones e indicadores

Los objetivos, metas, acciones e indicadores del eje estratégico (Transversal) No. 8 educación y capacitación de la agenda estratégica del TecNM Agua limpia y saneamiento, se citan en la Tabla 15.

**Tabla 15.** Objetivos, metas, acciones, indicadores y fechas compromiso del eje estratégico (Transversal) No. 8 Educación y capacitación

Objetivos	Metas	Acciones	Indicadores	Fecha compromiso
1. Apoyar el desarrollo de capacidades de educación hídrica a nivel superior.	Contar con diplomado en materia de agua limpia y saneamiento.	Análisis de los temas a desarrollar. Estructuración del diplomado en materia de agua limpia y saneamiento.	Diplomado impartido	Agosto 2023
2. Promover y apoyar estrategias y acciones orientadas al continuo desarrollo profesional de científicos, ingenieros, administradores y responsables de la elaboración de políticas en materia de agua.	Elaboración de un módulo de especialidad en materia de agua limpia y saneamiento.	Análisis de las propuestas de programas de estudio para la especialidad. Análisis del entorno en términos de la posible implementación de la especialidad en los planteles.	Módulo de especialidad	Enero 2024



## e) Bibliografía

- [1] Gobierno de México (24 de abril de 2023). <https://www.gob.mx/semarnat/educacionambiental/es/articulos/educacion-ambiental-y-cultura-del-agua?idiom=es>
- [2] UNESCO (22 de abril de 2023). <https://es.unesco.org/themes/garantizar-suministro-agua/hidrologia/educacion/ninos-jovenes>
- [3] Pacto Mundial (22 de abril de 2023). [https://www.pactomundial.org/ods/6-agua-limpia-y-saneamiento/#:~:text=El%20ODS%206%20pretende%20lograr,de%20sus%20productos%20y%20servicios...»](https://www.pactomundial.org/ods/6-agua-limpia-y-saneamiento/#:~:text=El%20ODS%206%20pretende%20lograr,de%20sus%20productos%20y%20servicios...)
- [4] IMJUVE (2018), *Agenda para las juventudes de México hacia el 2030. Alcances de la agenda de desarrollo sostenible. Documento técnico*, México.



AGENDA ESTRATÉGICA  
DEL TecNM

“AGUA LIMPIA Y  
SANEAMIENTO”

# Resultados Etapa 1





### 3.2 Resultados Etapa No. 1

Durante el periodo marzo-junio de 2023 se realizaron diversas actividades, las cuales se describen a continuación:

- a. Conformación oficial de la Agenda Estratégica del TecNM Agua Limpia y Saneamiento**, la cual fue encabezada por la Secretaría de Planeación, Evaluación y Desarrollo Institucional del TecNM en las oficinas centrales de TecNM el día 15 de marzo de 2023. Además, fueron designados como Institutos coordinadores de los ejes de la agenda el *Instituto Tecnológico de Aguascalientes*, el *Instituto Tecnológico de Boca del Río*, el *Instituto Tecnológico de Tijuana*, el *Instituto Tecnológico de Toluca*, el *Instituto Tecnológico de Valle de Etna* y el *Instituto Tecnológico de Villahermosa* (Ver Fig.2).



**Fig. 2.** Profesores participantes en la instalación oficial de la Agenda Estratégica del TecNM Agua Limpia y Saneamiento (15 de marzo de 2023)



**b. Elaboración del temario para el Diplomado Básico de Fundamentos del agua limpia y saneamiento.**

El temario del Diplomado Básico se muestra en el Anexo A del presente documento, el cual consta de 5 módulos: (1) importancia del agua, (2) contaminación del agua y calidad, (3) sistemas de tratamiento de agua potable, (4) sistemas de tratamiento de aguas residuales y (5) captación, recuperación y reúso de agua.

**c. Realización de foros del Agua.**

Se realizaron dos foros del Agua con la finalidad de presentar la agenda a otros campus del TecNM y recibir retroalimentación del temario del diplomado y de las versiones 1.0 y 2.0 de la agenda. El primer foro se realizó el día 28 de abril de 2023 en las instalaciones del campus de Tlanepantla y conto con la participación de 37 diferentes Tecnológicos (Ver Fig. 3).

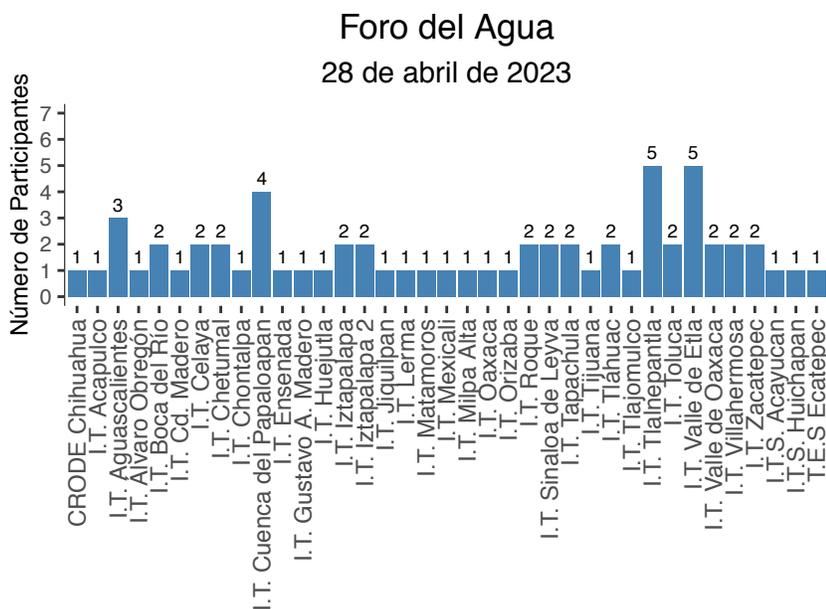


Fig. 3 Campus del TecNM que participaron en el Foro del Agua del día 28 de abril de 2023



El segundo foro tuvo lugar en las instalaciones del campus Toluca el día 14 de junio de 2023, el cual tuvo un registró de 30 diferentes Tecnológicos (Ver Fig. 4).

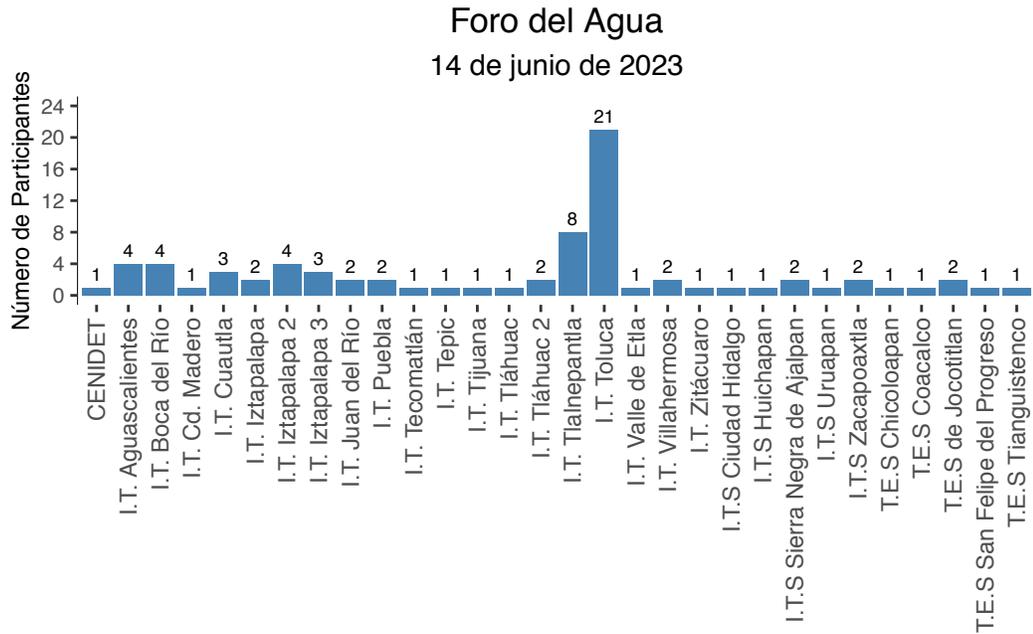


Fig. 4 Campus del TecNM que participaron en el Foro del Agua del día 14 de junio de 2023

#### ***d. Detección de fortalezas técnico-científicas y humanas del TecNM en materia de agua***

La detección de las fortalezas técnico-científicas y humanas del TecNM en materia del agua fue identificada con la aplicación de un cuestionario con la opción de formularios de Google cuya liga fue la siguiente: [https://docs.google.com/forms/d/1Yj-CTHyAMbMqY8OoZk4sIUMTVuJmePkw\\_1vqQ6suMeM/viewform?edit\\_requested=true](https://docs.google.com/forms/d/1Yj-CTHyAMbMqY8OoZk4sIUMTVuJmePkw_1vqQ6suMeM/viewform?edit_requested=true)



Los resultados de la encuesta muestran que 875 profesores y/o investigadores de 139 campus del TecNM contestaron la encuesta, esto significa que se tuvo una respuesta del 74 % de los 187 planteles que imparten materias relacionadas con tema del agua. Particularmente, en la Fig. 5 se muestra la ubicación de los campus que participaron la encuesta y en la Tabla 16 se citan los nombres de los Tecnológicos y el número de personas que participaron.



**Fig. 5.** Ubicación de los 139 campus participantes en la encuesta para la agenda estratégica del TecNM agua limpia y saneamiento



**Tabla 16.** Campus que contestaron la encuesta de detección de fortalezas del TecNM  
"Agenda Estratégica para el agua limpia y saneamiento"

No.	Nombre del Campus	No. respuestas
1	Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico	1
2	Centro Regional de Optimización y Desarrollo de Equipo de Chihuahua	1
3	Centro Regional de Optimización y Desarrollo de Equipo de Mérida	1
4	Instituto Tecnológico de Acapulco	6
5	Instituto Tecnológico de Aguascalientes	13
6	Instituto Tecnológico de Altamira	1
7	Instituto Tecnológico de Altiplano de Tlaxcala	2
8	Instituto Tecnológico de Álvaro Obregón	1
9	Instituto Tecnológico de Apizaco	1
10	Instituto Tecnológico de Atitalaquia	4
11	Instituto Tecnológico de Boca del Río	16
12	Instituto Tecnológico de Campeche	5
13	Instituto Tecnológico de Cancún	7
14	Instituto Tecnológico de Cd. Altamirano	11
15	Instituto Tecnológico de Cd. Madero	10
16	Instituto Tecnológico de Cd. Valles	2
17	Instituto Tecnológico de Cd. Victoria	2
18	Instituto Tecnológico de Celaya	8
19	Instituto Tecnológico de Cerro Azul	1
20	Instituto Tecnológico de Chetumal	3
21	Instituto Tecnológico de Chihuahua II	2
22	Instituto Tecnológico de Chiná	6
23	Instituto Tecnológico de Colima	5
24	Instituto Tecnológico de Comitán	2
25	Instituto Tecnológico de Comitancillo	15
26	Instituto Tecnológico de Conkal	2
27	Instituto Tecnológico de Culiacán	2
28	Instituto Tecnológico de El Salto	1
29	Instituto Tecnológico de Frontera Comalapa	2
30	Instituto Tecnológico de Gustavo A. Madero	6
31	Instituto Tecnológico de Huejutla	3
32	Instituto Tecnológico de Iztapalapa	3
33	Instituto Tecnológico de Iztapalapa II	2
34	Instituto Tecnológico de Iztapalapa III	1



**Tabla 16.** Campus que contestaron la encuesta de detección de fortalezas del TecNM  
"Agenda Estratégica para el agua limpia y saneamiento". *Continuación*

No.	Nombre del Tecnológico	No. respuestas
35	Instituto Tecnológico de Jiquilpan	2
36	Instituto Tecnológico de La Chontalpa	4
37	Instituto Tecnológico de La Cuenca del Papaloapan	21
38	Instituto Tecnológico de La Zona Maya	4
39	Instituto Tecnológico de Lerma	10
40	Instituto Tecnológico de Linares	15
41	Instituto Tecnológico de Los Mochis	1
42	Instituto Tecnológico de Matamoros	1
43	Instituto Tecnológico de Mazatlán	1
44	Instituto Tecnológico de Mérida	9
45	Instituto Tecnológico de Mexicali	1
46	Instituto Tecnológico de Milpa Alta	2
47	Instituto Tecnológico de Minatitlán	5
48	Instituto Tecnológico de Morelia	14
49	Instituto Tecnológico de Nogales	1
50	Instituto Tecnológico de Norte de Nayarit	1
51	Instituto Tecnológico de Nuevo Laredo	1
52	Instituto Tecnológico de Nuevo León	2
53	Instituto Tecnológico de Orizaba	5
54	Instituto Tecnológico de Oaxaca	1
55	Instituto Tecnológico de Pinotepa	1
56	Instituto Tecnológico de Pochutla	1
57	Instituto Tecnológico de Puebla	1
58	Instituto Tecnológico de Roque	4
59	Instituto Tecnológico de Sinaloa de Leyva	1
60	Instituto Tecnológico de Sur de Nayarit	2
61	Instituto Tecnológico de Tapachula	4
62	Instituto Tecnológico de Tehuacán	2
63	Instituto Tecnológico de Tepic	4
64	Instituto Tecnológico de Tijuana	3
65	Instituto Tecnológico de Tizimín	3
66	Instituto Tecnológico de Tláhuac	2
67	Instituto Tecnológico de Tlalnepantla	4
68	Instituto Tecnológico de Toluca	16
69	Instituto Tecnológico de Torreón	1
70	Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez	1



**Tabla 16.** Campus que contestaron la encuesta de detección de fortalezas del TecNM  
"Agenda Estratégica para el agua limpia y saneamiento". *Continuación*

No.	Nombre del Tecnológico	No. respuestas
72	Instituto Tecnológico de Valle de Etla	1
73	Instituto Tecnológico de Valle de Oaxaca	4
74	Instituto Tecnológico de Veracruz	1
75	Instituto Tecnológico de Villahermosa	12
76	Instituto Tecnológico de Zacatepec	1
77	Instituto Tecnológico de Zitácuaro	1
78	Instituto Tecnológico El Llano Aguascalientes	2
79	Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez Campus Tala, Zapopan y Zapotlanejo	23
80	Instituto Tecnológico Superior de Abasolo	3
81	Instituto Tecnológico Superior de Acatlán de Osorio	1
82	Instituto Tecnológico Superior de Álamo Temapache	1
83	Instituto Tecnológico Superior de Apatzingán	1
84	Instituto Tecnológico Superior de Atlixco	7
85	Instituto Tecnológico Superior de Cajeme	1
86	Instituto Tecnológico Superior de Calkiní	1
87	Instituto Tecnológico Superior de Cd. Serdán	1
88	Instituto Tecnológico Superior de Centla	6
89	Instituto Tecnológico Superior de Chicontepepec	20
90	Instituto Tecnológico Superior de Cintalapa	2
91	Instituto Tecnológico Superior de Coatzacoalcos	1
92	Instituto Tecnológico Superior de Comalcalco	4
93	Instituto Tecnológico Superior de El Dorado	15
94	Instituto Tecnológico Superior Felipe Carrillo Puerto	1
95	Instituto Tecnológico Superior de Fresnillo	1
96	Instituto Tecnológico Superior de Guanajuato	2
97	Instituto Tecnológico Superior de Guasave	3
98	Instituto Tecnológico Superior de Hopelchén	6
99	Instituto Tecnológico Superior de Irapuato	1
100	Instituto Tecnológico Superior de Jesús Carranza	2
101	Instituto Tecnológico Superior de Juan Rodríguez Clara	1
102	Instituto Tecnológico Superior de La Montaña	1
103	Instituto Tecnológico Superior de La Sierra Norte de Puebla	8
104	Instituto Tecnológico Superior de Las Choapas	21
105	Instituto Tecnológico Superior de Lerdo	1



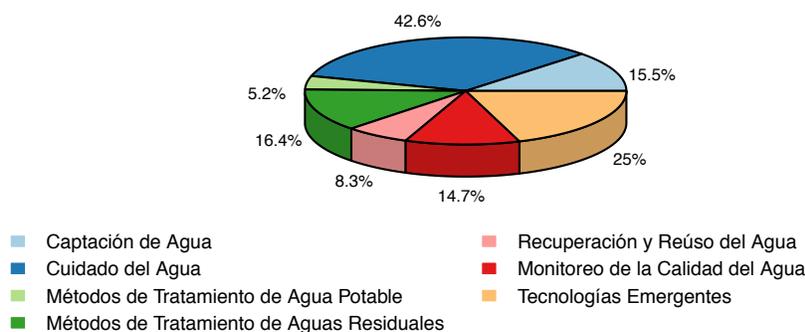
**Tabla 16.** Campus que contestaron la encuesta de detección de fortalezas del TecNM  
"Agenda Estratégica para el agua limpia y saneamiento". *Continuación*

No.	Nombre del Tecnológico	No. respuestas
106	Instituto Tecnológico Superior de Libres	3
107	Instituto Tecnológico Superior de Mante	1
108	Instituto Tecnológico Superior de Misantla	3
109	Instituto Tecnológico Superior de Naranjos	16
110	Instituto Tecnológico Superior de Occidente del Estado de Hidalgo	12
111	Instituto Tecnológico Superior de Oriente del Estado de Hidalgo	1
112	Instituto Tecnológico Superior de Salvatierra	1
113	Instituto Tecnológico Superior de San Andrés Tuxtla	1
114	Instituto Tecnológico Superior de San Martín Texmelucan	64
115	Instituto Tecnológico Superior de San Miguel el Grande	8
116	Instituto Tecnológico Superior de Santiago Papasquiaro	4
117	Instituto Tecnológico Superior de Sur de Guanajuato	38
118	Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca	1
119	Instituto Tecnológico Superior de Tepeaca	1
120	Instituto Tecnológico Superior de Teposcolula	15
121	Instituto Tecnológico Superior de Tierra Blanca	1
122	Instituto Tecnológico Superior de Tlatlauquitepec	2
123	Instituto Tecnológico Superior de Tlaxco	13
124	Instituto Tecnológico Superior de Uruapan	31
125	Instituto Tecnológico Superior de Valladolid	9
126	Instituto Tecnológico Superior de Venustiano Carranza	1
127	Instituto Tecnológico Superior de Villa la Venta	24
128	Instituto Tecnológico Superior de Xalapa	58
129	Tecnológico de Estudios Superiores de Chimalhuacán	2
130	Tecnológico de Estudios Superiores de Coacalco	4
131	Tecnológico de Estudios Superiores de Cuautitlán Izcalli	1
132	Tecnológico de Estudios Superiores de Huixquilucan	7
133	Tecnológico de Estudios Superiores de Ixtapaluca	7
134	Tecnológico de Estudios Superiores de Jilotepec	3
135	Tecnológico de Estudios Superiores de Jocotitlán	1
136	Tecnológico de Estudios Superiores de Oriente del Estado de México	1
137	Tecnológico de Estudios Superiores de San Felipe del Progreso	10
138	Tecnológico de Estudios Superiores de Tianguistenco	72
139	Tecnológico de Estudios Superiores de Valle de Bravo	1

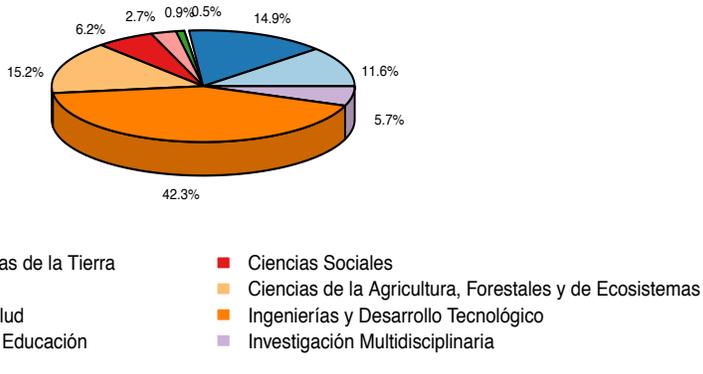
**TOTAL: 875**



En el análisis de resultados de la encuesta se pudo observar que los profesores y/o investigadores participan activamente en algunos de los ejes estratégicos contemplados en la agenda de TecNM Agua Limpia y Saneamiento. En la Fig. 6 se puede notar que la mayoría del personal desarrolla alguna actividad relacionada con el eje estratégico No. 2 *cuidado del agua* (42.6 %), eje No. 7 *Tecnologías emergentes* (25 %) y eje No. 4 *Métodos de tratamiento de aguas residuales* (16.4 %). Así mismo, se identificó que la mayoría del personal (42.3 %) trabaja en el área de conocimiento de Ingenierías y Desarrollo Tecnológico (Ver Fig. 7).

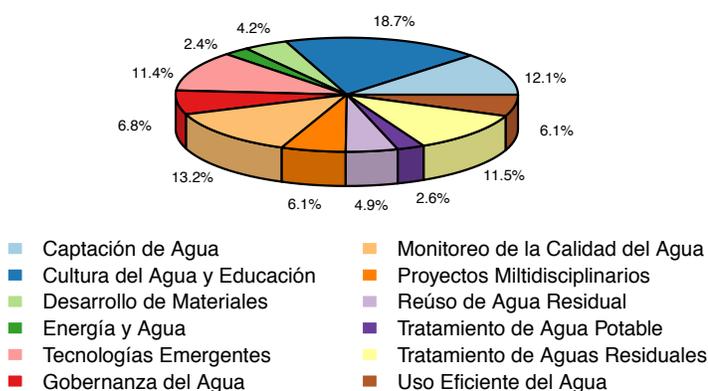


**Fig. 6.** Participación de los docentes y/o investigadores en los ejes estratégicos de la Agenda del TecNM Agua limpia y Saneamiento



**Fig. 7** Áreas del conocimiento en las que participan los docentes y/o investigadores del TecNM que contestaron la encuesta

Finalmente, es relevante mencionar que la mayoría de los docentes e investigadores desarrollan actividades y/o proyectos de investigación relacionados con las categorías mostradas en la Fig. 8. Se puede destacar que las categorías que más se han estudiado son cultura del agua y educación (18.7 %), monitoreo de la calidad del agua (13.2 %), captación de agua (12.1 %), tratamiento de aguas residuales (11.5 %) y tecnologías emergentes (11.4 %).



**Fig. 8.** Categorías temáticas de actividades y/o proyectos de investigación que desarrollan los docentes y/o investigadores del TecNM que contestaron la encuesta



AGENDA ESTRATÉGICA  
DEL TecNM

"AGUA LIMPIA Y  
SANEAMIENTO"

# Conclusiones

## Etapa 1





### **3.3 Conclusiones de la Etapa No. 1**

Las conclusiones generales por eje estratégico derivadas del análisis de cada eje temático, los resultados del cuestionario y la retroalimentación de los foros del agua se describen a continuación.

#### **Eje No. 1 Captación de agua**

El desarrollo y la implementación de la Agenda Estratégica del TecNM "Agua limpia y saneamiento" en todos los Instituto Tecnológicos Federales y Descentralizados, requiere del compromiso de cada una de las autorizadas, ya que se necesitan recursos variados como son económicos, de personal, infraestructura y la disposición de cada una de las partes para entender la importancia de la captación de agua en México. El eje estratégico 1 "*Captación de agua*", permitirá demostrar la capacidad técnica de cada Campus y del TecNM en general, ya que en algunos Tecnológicos se cuenta con sistemas de captación de agua que se desarrollaron a partir de Tesis de Licenciatura o Maestría, o de proyectos de residencia profesional. Con la debida capacitación del personal se podrá mejorar en el desarrollo de proyectos de este eje y se podrán alcanzar los compromisos establecidos en el mismo. Con el apoyo del eje 6 "Monitoreo de la Calidad del Agua" se podrán diseñar sistemas de Captación de Agua que cumplan con la Normatividad Nacional para uso humano, ya sea directo o indirecto. Finalmente, es relevante mencionar que el 12.1 % de la población encuestada realiza alguna actividad o proyecto relacionado con el eje estratégico de captación de agua.

#### **Eje No. 2 Cuidado del agua**

La conformación de un plan educativo encaminado al cuidado del agua desde las diferentes áreas del conocimiento es una acción urgente para



atender los problemas de escasez y distribución de este líquido vital, el cual se enfrenta a una disminución progresiva y, por lo tanto, a la falta de acceso libre, seguro y equitativo a lo que tiene derecho la sociedad. En este sentido, el eje estratégico de cuidado del agua permitirá conformar una red interdisciplinaria de especialistas que generen un plan educativo para las tres regiones del país que contemple y respete las costumbres sociales y garantice el cuidado del agua desde la sociedad, todo ello coordinado desde el Tecnológico Nacional de México. El grupo interdisciplinario tendrá la posibilidad de proponer proyectos de investigación que involucren el área social desde un punto de vista humanista y además promover una nueva cultura del agua desde la niñez.

De acuerdo con los resultados de la encuesta, los temas relacionados con el cuidado del agua son los más estudiados (42.6 % de la población encuestada trabaja en el tema), lo que indica que el personal del TecNM está comprometido con el cuidado del vital líquido.

### **Eje No. 3 Métodos de tratamiento de agua potable**

La implementación de una agenda estratégica en el TecNM que considere el tratamiento de agua potable es fundamental para garantizar la calidad del agua y la salud de la población. En el eje 3, métodos de tratamiento de agua potable, se deben considerar diferentes aspectos clave, tales como: la realización de campañas de concientización sobre la importancia del tratamiento de agua potable y su impacto en la salud y el medio ambiente; la identificación de los métodos de tratamiento de agua potable más adecuados según la calidad del agua disponible y las necesidades de la población y la aplicación de la Normatividad Nacional e Internacional para el agua potable, considerando sus diferentes aplicaciones. Además, se debe promover la capacitación en temas relacionados con la



potabilización de agua y el desarrollo de nuevas tecnologías de tratamiento de agua potable, así como establecer alianzas con instituciones, organizaciones y empresas relacionadas con el tratamiento de agua potable para compartir conocimientos y recursos.

#### **Eje No. 4 Métodos de tratamiento de aguas residuales**

El eje estratégico de métodos de tratamiento de aguas residuales permitirá realizar un diagnóstico en los campus del TecNM para conocer si cuentan con una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) u otro sistema, con la finalidad de difundir información relacionada con los métodos de tratamiento de aguas residuales. Además, se podrá implementar el programa de Reactivación, Rediseño y Creación del tratamiento de aguas residuales, por la ecotecnología de humedales artificiales en algunos de los Institutos y de las localidades y áreas que impactan.

Es recomendable proponer tecnologías de tratamiento de aguas residuales que contemplen la eliminación de la huella de carbono y es necesario conocer el ciclo de vida de los materiales usados en sistemas de filtración. También, se considera importante socializar el problema de la generación de aguas residuales y la aplicación de posibles tratamientos, evaluando en primera instancia la situación en las Instituciones educativas.

Los métodos de tratamiento de aguas residuales son estudiados en diferentes campus del TecNM y de acuerdo con los resultados de la encuesta, el 11.5 % de los profesores y/o investigadores trabajan en temas relacionados con este tópico.



## **Eje No. 5 Recuperación y reúso del agua**

En México no hay una cultura de recuperación y reúso del agua y la iniciativa del TecNM de crear una agenda en el tema del Agua, permitió formar grupos de trabajo a nivel nacional para sumar esfuerzos y ser ejemplo para la población de cómo mejorar el uso del agua y adoptar la recuperación y el reúso como parte de la vida diaria. En esa medida, el TecNM podrá evolucionar y educar a su comunidad, en particular a la más vulnerable que carece del agua y sufre las consecuencias de una mala gestión hídrica.

Es recomendable reestructurar los planes de estudio para que las asignaturas abarquen temas actuales de agua, específicamente en la materia de Desarrollo Sustentable. Además, deben existir programas que incluyan actividades enfocadas en la recuperación y de reúso del agua.

Finalmente, es urgente un programa para el tratamiento de los diferentes tipos de agua residual (agua gris, negra e industrial) y de acuerdo con los resultados de la encuesta, el 11.5 % de los profesores trabajan en temas relacionados con los métodos de tratamiento de agua residual, lo que representa un área de oportunidad para la implementación de programas y desarrollo de proyectos de investigación en este tema.

## **Eje No. 6 Monitoreo de la calidad del agua**

En el eje estratégico de monitoreo de la calidad del agua se contempla participar con diferentes sectores de la sociedad en actividades relacionadas con la determinación de la calidad del agua en México. Además de los principales parámetros físicos, químicos y biológicos que se determinan para estimar la calidad del agua, se deben implementar



técnicas para la cuantificación de los contaminantes emergentes, ya que no existen técnicas y/o procedimientos estandarizados.

Es importante formar y fortalecer especialistas en materia de análisis del agua empleando procedimientos establecidos en estándares mexicanos (NMX). Dichos especialistas podrán desarrollar proyectos de investigación relacionados con la calidad del agua potable y/o residual o podrán participar en los procesos de acreditación de otros laboratorios bajo la norma NMX-EC-17025-IMNC-2018 (*Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración*). En este sentido, se requiere gestionar apoyos económicos para fortalecer los laboratorios existentes en los diversos campus del TecNM que hacen análisis de agua potable y residual, los cuales se podrían acreditar en un futuro.

### **Eje No. 7 Tecnologías emergentes**

Con la implementación de la Agenda Estratégica del TecNM "Agua limpia y saneamiento" en los campus del TecNM se va a contribuir a solucionar los diferentes problemas relacionados con el agua. En especial con el desarrollo del eje estratégico 7 "Tecnologías emergentes", se va a generar conocimiento y tecnología de frontera para proponer soluciones eficientes y novedosas a los diferentes problemas que presenta el agua en México, con la participación de autoridades y organismos sociales. También, se va a contribuir en la formación de recursos humanos altamente especializados en el diseño y uso de tecnologías emergentes aplicados al agua, con la finalidad de que las tecnologías emergentes ayuden a monitorear y obtener un diagnóstico del estado actual del recurso hídrico en el país.



## Eje No. 8 (transversal) Educación y Capacitación

La creación de la agenda estratégica del TecNM Agua Limpia y Saneamiento nace como una necesidad urgente de atender temas prioritarios en materia de agua, como lo es el alto estrés hídrico que sufren algunos estados de la República Mexicana y la mala calidad del agua potable debido a la sobreexplotación de los mantos acuíferos. En este sentido, el eje estratégico transversal de *educación y capacitación* permitirá formar y fortalecer especialistas en materia hídrica capaces de tomar decisiones enfocadas al uso sustentable, eficiente y racional del agua. Además, es relevante mencionar que se requiere una capacitación para el personal docente en la temática de captación del agua y marco legal. Así mismo, es necesario que el personal conozca en qué casos se puede emplear el agua obtenida en cada tipo de sistema de captación, ya que las necesidades de cada zona son muy específicas.

Es importante el diseño y desarrollo de un Diplomado que aborden las temáticas consideradas en los ejes estratégicos de la Agenda estratégica de TecNM Agua limpia y Saneamiento. Se recomienda que el diplomado sea mixto con la finalidad de complementar el conocimiento teórico con la práctica. Además, se aconseja que éste sea dividido en dos etapas (introdutoria y de especialidad).

Por otro lado, se puede vislumbrar que la capacitación de los alumnos en temas relacionados con el agua se debe realizar desde el curso de desarrollo sustentable y se sugiere que todos los directores y subdirectores avalen esta iniciativa para que sea una realidad.

Es deseable crear un Consejo de Innovación y Transferencia de Tecnología del Agua, que permita desarrollar estrategias para establecer políticas del cuidado del recurso hídrico. Además, la vinculación con el sector empresarial es indispensable para que los proyectos realizados en los institutos tengan aplicación y ayuden a la comunidad.



AGENDA ESTRATÉGICA  
DEL TecNM

“AGUA LIMPIA Y  
SANEAMIENTO”



# Capítulo 2.

## Agenda Internacional



AGENDA ESTRATÉGICA  
DEL TecNM

# “AGUA LIMPIA Y SANEAMIENTO”

## Contexto mundial de los ejes estratégicos





## 4. Capítulo 2. Agenda Internacional

El capítulo 2 de la agenda del TecNM Agua Limpia y Saneamiento incluye la descripción del contexto internacional de cada uno de los ejes estratégicos. Además, se describen las principales actividades que se pretenden realizar con vinculación e impacto internacional.

### 4.1 Descripción del Contexto Internacional de cada eje estratégico de la agenda

#### a) Introducción

La demanda de agua a nivel mundial ha aumentado significativamente durante el último siglo, experimentando un incremento seis veces mayor. Este crecimiento se debe a diversos factores como el aumento de la población, el desarrollo económico, los hábitos de consumo de agua y el impacto del cambio climático. Esa situación ha generado una creciente escasez de recursos hídricos, lo cual representa una amenaza grave para la población con implicaciones importantes en la seguridad alimentaria y energética [1-2]. Particularmente, se ha reportado que, en el año 1900, cerca de 200 millones de personas (aproximadamente el 14% de la población global) se encontraban en una situación de estrés hídrico, mientras que, en la década de 1980, esta cifra aumentó a más de 2 mil millones (42 %) y llegó a 3.8 mil millones (58 %) en la década de 2000. Este incremento se debe principalmente al rápido crecimiento poblacional [1]. No obstante, se puede resaltar que además del aumento demográfico, el desarrollo de diversas industrias como la agricultura, la minería, la producción de energía y la manufacturera, ha contribuido al consumo elevado de agua [3]. En este sentido, el cambio climático



también juega un papel importante en el agravamiento de la escasez de agua, ya que afecta el ciclo hidrológico, modificando los patrones de lluvia y aumentando la variabilidad climática, lo que reduce la disponibilidad de suministro de agua [4-5].

Por otro lado, es importante mencionar que las políticas públicas relacionadas con la extracción, tratamiento y distribución de agua potable, así como la recolección y tratamiento de aguas residuales, son esenciales para asegurar un suministro adecuado de agua para satisfacer las necesidades de la población en general. No obstante, también se requiere una concientización y apoyo específico de la comunidad para enfrentar la crisis hídrica y lograr el sexto objetivo del desarrollo sostenible "*Garantizar la disponibilidad y la gestión del agua y el saneamiento para todos*" [6-7]. En este sentido, se ha observado que la falta de conocimiento sobre el tema del agua en la población en general puede obstaculizar la implementación de estrategias de conservación (uso de agua reciclada). Por lo tanto, es esencial aumentar los niveles de alfabetización sobre el agua para fomentar el apoyo a las políticas de conservación [8]. Específicamente, resulta crucial establecer definiciones conceptuales y operativas sólidas, para evaluar y comparar el estado de los recursos hídricos en diferentes regiones y períodos de tiempo, así como para calcular los índices de estrés hídrico y sequía [1, 9].

Según el World Resources Institute, aproximadamente dos mil millones de personas viven en países con un alto nivel de estrés hídrico por la escasez de agua, y alrededor de cuatro mil millones experimentan escasez grave durante al menos un mes al año. Algunos de los países que sufren estrés hídrico extremo son: Qatar, Israel, Líbano, Irán, Jordán, Libia, Kuwait, Arabia Saudita, Eritrea, Emiratos Árabes Unidos, San Marino, Baréin, India, Pakistán, Turkmenistán, Omán, Botsuana. Mientras que los países con estrés hídrico alto son Chile, Andorra, Bélgica, México, entre otros. Además,



se prevé que para el año 2030, 700 millones de personas podrían enfrentar desplazamientos debido a una intensa escasez de agua [10-11].

Por otro lado, la calidad del agua también es un factor relevante, no obstante, hay que considerar que la mala calidad del agua puede afectar significativamente la disponibilidad de este recurso, lo que podría resultar en valores de estrés hídrico más altos de los informados [7]. En vista de los desafíos urgentes de la creciente demanda y el agotamiento de los recursos hídricos en todo el mundo, la agenda estratégica del TecNM Agua Limpia y Saneamiento busca contribuir de manera sinérgica con los diferentes actores de la sociedad con la finalidad de establecer estrategias que permitan crear en los ciudadanos una cultura de cuidado y uso eficiente del vital líquido.

## **b) Antecedentes**

Los antecedentes a nivel mundial de los diferentes ejes estratégicos que conforman la agenda del TecNM Agua limpia y Saneamiento son descritos a continuación.

### **1. Captación de agua**

A lo largo de la historia, el almacenamiento de agua en pequeños estanques y cisternas ha sido una práctica milenaria en todo el mundo. Desde la época romana, se utilizaban estanques para almacenar agua en el norte de África, y algunos de estos aún se encuentran en funcionamiento en regiones como Túnez y Egipto. Las ruinas arqueológicas en áreas áridas de la región mediterránea y Asia Occidental atestiguan estructuras de abastecimiento de agua que permitieron la existencia de asentamientos. Como se puede notar, a lo largo del tiempo se han desarrollado diversas técnicas antiguas de abastecimiento de agua,



reflejando la evolución histórica y las condiciones hidrológicas a las que se adaptaron [12-13].

Según datos de la OMS, el consumo recomendado de agua es como mínimo de 50 litros por persona al día para garantizar la higiene básica y la nutrición [14]. Sin embargo, es fundamental que el acceso al agua potable y al saneamiento básico sea accesible, asequible, seguro y aceptable para la población. En este contexto, la recolección de agua de lluvia y los sistemas de recolección han emergido como alternativas económicas y ecológicas. Por ejemplo, en Sídney, se ha demostrado que los tanques de almacenamiento de agua de lluvia ofrecen un ahorro significativo de agua y una relación costo/beneficio positivo relacionada con las precipitaciones anuales [15]. A pesar de la viabilidad de estas técnicas, existen desafíos naturales e inducidos por el ser humano, como la adecuación biofísica, la utilización racional, limitaciones económicas y de infraestructura, y la falta de confiabilidad de las precipitaciones [12].

Las técnicas de captación de agua se clasifican según la fuente de agua que capturan y estas pueden ser: captación de agua subterránea, captación de agua de escorrentía y captación de agua atmosférica. Un sistema de captación de agua generalmente consta de cuatro componentes: captación, transporte o desviación, instalación de almacenamiento y objetivo [13].

Entre las técnicas más utilizadas y de menor costo energético e infraestructura para la captación de agua se encuentra la captación de agua atmosférica. Esta técnica permite la captura de vapor de agua y la producción de una amplia gama de condiciones de humedad relativa y temperatura mediante sorbentes o ciclos de refrigeración. Se han desarrollado nuevos adsorbentes como estructuras metal-orgánicas (MOF) y zeolitas avanzadas que exhiben alta capacidad de sorción, fácil regeneración y estabilidad hidrotermal, lo que los hace ideales para la



captura de vapor de agua en condiciones atmosféricas de baja humedad [16]. Además, Graeber y col. trabajaron en mejorar los hidrogeles de PAM (Poliacrilamida), los cuales ahora pueden absorber una cantidad sin precedentes de agua mediante cargas de sal inducidas por el hinchamiento, superando algunos de los materiales MOFs en sorción de agua [17].

Por otra parte, la desalinización solar térmica ha surgido como una solución de bajo costo y alta eficiencia para entornos con recursos limitados. Este método se basa en la conversión de la radiación solar en calor, que luego se utiliza para generar vapor y condensar agua limpia [18]. La recuperación del agua a través de la desalinización del agua de mar presenta desafíos debido a la acumulación de sales. Para abordar este problema, se están desarrollando métodos de evaporación altamente eficientes que permitan rechazar la sal mediante la ingeniería de fluidos en una capa de agua confinada sin necesidad de mechas [19].

## **2. Cuidado del agua**

La disponibilidad de agua se enfrenta a una creciente variabilidad debido a las condiciones cambiantes del clima, el aumento de la población y el desarrollo económico. Esto ha llevado a una mayor demanda de agua en centros urbanos y regionales, generando escasez de este recurso vital. La gestión urbana del agua se convierte en un aspecto crítico para asegurar un suministro seguro, confiable y sostenible para los consumidores. En este contexto, la gestión de la demanda de agua es de gran interés para los responsables políticos y planificadores de infraestructura.

La gobernanza y la educación desempeñan un papel crucial en el cuidado del agua, y la importancia de la educación en la lucha contra la crisis



mundial del agua ha sido destacada por John Cherry (Profesor Distinguido Emérito de la Universidad de Waterloo en Ontario, figura destacada en la investigación y gestión de aguas subterráneas). Además, los programas gubernamentales, como los establecidos por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), están encaminados a alcanzar el Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) número 6, que busca garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos [20-22].

Dado que las restricciones económicas, ambientales y de recursos hídricos afectan el aumento de la capacidad de suministro de agua, se ha buscado de manera cooperativa soluciones para reducir la demanda de agua por parte de los residentes. En este sentido, gobiernos, Organizaciones No Gubernamentales (ONG) y científicos han propuesto diversas medidas para lograr un ahorro significativo de agua [23]. Entre las medidas más efectivas se encuentran el uso de electrodomésticos de bajo consumo de agua, como rociadores y grifos de bajo flujo, lavadoras y lavavajillas eficientes en el uso del agua. Además, se ha promovido la adopción de comportamientos ambientalmente amigables por parte de los residentes a través de incentivos de precios, educación y concienciación, restricciones en el suministro de agua y esquemas de descuento. Los resultados de estas medidas han sido diversos, por ejemplo, las campañas de educación y concienciación pública lograron reducir el consumo de agua en un 57 % en Melbourne (Australia). Sin embargo, se ha observado que la aceptación de estas iniciativas puede depender de las características personales, la conciencia, los hábitos e incluso la disparidad de género dentro de la sociedad [23-24]. En este sentido, es fundamental abordar los diferentes factores que influyen en el comportamiento de los individuos para lograr una reducción efectiva y sostenible en la demanda de agua en las áreas urbanas.



### 3. Métodos de tratamiento de agua potable

La disponibilidad de agua potable es un factor determinante para la supervivencia y bienestar humano. A pesar de su importancia crucial, la Organización Mundial de la Salud (OMS) y el Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia señalan que solo el 71 % de la población mundial tiene acceso a agua potable. Este acceso limitado se ve afectado por el crecimiento acelerado de la población, la expansión de la urbanización e industrialización y la contaminación del agua, lo que representa una amenaza para la biodiversidad y la salud humana [25].

En el año 2003, un informe de la ONU alertó que diariamente se vierten 2 millones de toneladas de aguas residuales, desechos industriales y agrícolas en las fuentes de agua del planeta, impactando directamente en el 2.5 % del suministro de agua dulce disponible en el mundo. Estos contaminantes, clasificados como físicos, químicos, biológicos y radiológicos, representan riesgos significativos para el entorno y la salud humana [26-27]. En este sentido, la seguridad del agua es una preocupación importante y se relaciona con la presencia de toxinas nocivas, metales pesados y contaminantes microbiológicos, como bacterias, virus, parásitos, protozoos microscópicos y gusanos [26, 28]. Estos agentes patógenos están vinculados a enfermedades graves, como diarrea, cólera, disentería, fiebre tifoidea y poliomielitis, causando aproximadamente 485,000 muertes por diarrea cada año. Además, aunque los niveles de sólidos disueltos totales no están contemplados en las normativas obligatorias sobre el agua, su presencia influye en el sabor del agua [28-29].

La obtención de agua de alta calidad requiere un proceso de tratamiento confiable. El tratamiento de agua potable se compone de cinco unidades comunes: coagulación, floculación, sedimentación, filtración y



desinfección. Con el tiempo, se han desarrollado diversas tecnologías tanto convencionales como avanzadas para este fin. Estas opciones incluyen desarenado, pre-oxidación, coagulación, floculación, sedimentación, filtración con carbón activado granular y desinfección. Además, tecnologías avanzadas como la filtración por membrana, irradiación ultravioleta, proceso de oxidación avanzada, intercambio iónico y filtración biológica, así como tecnologías emergentes como la nanotecnología, nanotubos acústicos y purificación fotocatalítica del agua, han sido desarrolladas y probadas en los últimos años [30].

A pesar de la eficacia de algunos métodos de tratamiento, persisten desafíos. Por ejemplo, en la filtración por membrana, ésta puede sufrir incrustaciones que afectan su rendimiento a largo plazo. Además, el tratamiento con ozono o peróxido puede generar subproductos peligrosos como compuestos cloratos y bromatos. A su vez, la filtración biológica se muestra como el proceso más eficiente para lograr agua biológicamente estable, pero aún existen incógnitas sobre su diseño y aplicación adecuada. Es importante destacar que el costo del tratamiento varía según la calidad del agua bruta, las tecnologías empleadas, las normativas aplicables, la fuente de energía y la cantidad de agua tratada [30]–[32].

En la búsqueda de soluciones, la ósmosis inversa ha surgido como una alternativa altamente eficaz para eliminar microcontaminantes orgánicos diversos. Investigaciones, como la desarrollada por Vittorino y col. han demostrado el potencial de la ósmosis inversa como un tratamiento de un solo paso para obtener agua potable de alta calidad a partir de fuentes fluviales, sin generar efectos adversos detectables [33].

Por otro lado, el equipo de Zihan Dai y col. ha identificado que los procesos de desinfección ejercen presiones selectivas sistemáticas en el microbioma del agua potable, lo que puede favorecer el desarrollo de



microorganismos capaces de utilizar productos de descomposición microbiana originados a partir de otros microorganismos inactivados por la desinfección. Estas herramientas microbiológicas aportan información valiosa y rápida en el proceso de tratamiento [34-35].

En resumen, asegurar el acceso a agua potable de calidad para toda la población es esencial para el bienestar humano y la protección del medio ambiente. Los métodos de tratamiento, tanto convencionales como avanzados, juegan un papel fundamental en la mejora de la disponibilidad de agua potable y la salvaguarda de la salud pública. Sin embargo, la investigación y mejora continua de estos métodos son cruciales para superar los desafíos actuales y futuros en el suministro de agua limpia y segura.

#### **4. Métodos de tratamiento de aguas residuales**

La contaminación del agua degrada su valor y se convierte en una amenaza para la salud y la supervivencia de la vida silvestre que depende de ella, lo que ha generado gran preocupación por el medio ambiente y los ecosistemas. En este sentido, la supervivencia y desarrollo de los seres vivos depende fundamentalmente del acceso al agua. Sin embargo, el crecimiento acelerado de la población, el avance de la industrialización, la urbanización y las prácticas agrícolas han conducido a la generación de grandes volúmenes de aguas residuales. Por lo tanto, es imperativo un adecuado tratamiento de las aguas residuales para su reutilización o devolución al medio ambiente [27, 36].

Las aguas residuales contienen diversos materiales peligrosos, tóxicos y dañinos, originados en fuentes diversas como desechos industriales, comerciales y agrícolas, entre otras [27]. Por ejemplo, la industria de



refinería de petróleo produce aproximadamente 10 barriles de aguas residuales por cada barril de crudo procesado, y en Sudáfrica se transportan en promedio 7589 megalitros de agua residual al día [37]. Estas aguas pueden variar en su apariencia física, composición química y carga de microorganismos y el objetivo del tratamiento de aguas residuales no solo es controlar los contaminantes por debajo de los límites permitidos, sino también evitar amenazas ambientales y para la salud humana [27].

Entre los métodos más utilizados para el tratamiento de aguas residuales se encuentran los físicos, químicos, mecánicos y biológicos, que permiten la eliminación de sólidos, materia orgánica y, en algunos casos, nutrientes [38-39]. Estos métodos se dividen en tres etapas: tratamiento primario, tratamiento secundario y tratamiento terciario. Antes de estas etapas, se realiza un tratamiento preliminar para eliminar o reducir el tamaño de los sólidos grandes, suspendidos o flotantes.

En el tratamiento primario se eliminan los sólidos orgánicos e inorgánicos mediante procesos físicos como la sedimentación y la flotación. El tratamiento secundario implica el tratamiento posterior de los efluentes del tratamiento primario para eliminar residuos orgánicos y sólidos en suspensión, e incluye tratamientos biológicos en ambientes controlados. Finalmente, el tratamiento terciario agrega operaciones unitarias después de un tratamiento secundario convencional [36].

La preocupación por ciertos contaminantes ha llevado a los investigadores a estudiar métodos específicos de tratamiento de agua para su eliminación. Por ejemplo, se ha utilizado la solución acuosa de alginato de sodio para la eliminación y recuperación de  $Pb^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$  y  $Cd^{2+}$ . Los metales pudieron ser recuperados como nanopulvos de  $PbO$ ,  $CuO$  y  $CdO$  mediante un tratamiento térmico simple [40]. En otro estudio, se evaluó la capacidad de la cáscara de semilla de girasol para adsorber Ni (II) en aguas residuales



industriales y sintéticas. Se encontró que la máxima capacidad de adsorción de Ni (II) fue de 5.29 mg/g [41].

Por otro lado, el tratamiento de contaminantes emergentes, como compuestos farmacéuticamente activos (PhAC), ha sido objeto de investigación utilizando técnicas como la nanofiltración. Estas membranas han demostrado ser eficaces para eliminar residuos de compuestos como el acetaminofén, ibuprofeno y sulfametoxanol presentes en concentraciones traza en aguas residuales [42]. Por otra parte, se ha explorado el uso de microalgas, como *Chlorella* sp., para el tratamiento de aguas residuales salinas con amoxicilina. La combinación de microalgas con bacterias mostró una eficiente eliminación de residuos orgánicos y amoxicilina [43].

Por otro lado, en el contexto de derrames de petróleo se han desarrollado compuestos poliméricos magnéticos como una solución para su limpieza. Estos compuestos presentan alta afinidad química con las fracciones del petróleo y han mostrado potencial para la eliminación de derrames en el agua [44]. También se han empleado catalizadores de ozono dopados con aluminio y carbono para la oxidación multicalatalítica en combinación con osmosis inversa para tratar aguas residuales generadas en la industria de impresión y teñido. Este proceso ha demostrado una eficiente eliminación de materia orgánica, asegurando una descarga segura y con bajo riesgo ecológico [45].

En resumen, el tratamiento de aguas residuales es un aspecto esencial para la preservación del medio ambiente y la salud pública. Los métodos de tratamiento físicos, químicos, mecánicos y biológicos han demostrado ser efectivos para la eliminación de diversos contaminantes presentes en las aguas residuales. La búsqueda constante de soluciones innovadoras



permitirá seguir mejorando la calidad del agua y minimizando el impacto negativo de los residuos generados por la actividad humana.

## **5. Recuperación y reúso del agua**

El agua es un recurso vital para los sistemas socioeconómicos y la economía mundial, con aproximadamente 4000 km<sup>3</sup> al año extraído de fuentes naturales con fines económicos. Desafortunadamente, solo un pequeño porcentaje (11%) se somete a algún proceso de tratamiento, mientras que casi la mitad (45 %) se devuelve al medio ambiente en forma de aguas residuales sin tratar [46]. El crecimiento de la población y la urbanización han agravado estos desafíos y han generado restricciones financieras para ampliar la capacidad de tratamiento, en línea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) que buscan una gestión sostenible del agua y el saneamiento [47].

En respuesta a esta crisis hídrica, la reutilización del agua ha emergido como una práctica antigua, pero innovadora, para abordar la escasez. La decisión de reutilizar el agua puede estar motivada por varios factores, como la falta de disponibilidad de agua, la gestión de efectos de la sequía, satisfacer todas las demandas en zonas competitivas o utilizar fuentes de agua más económicas. Índices clave, como la disponibilidad de agua per cápita y el índice de uso del agua, son fundamentales para guiar la adopción de la reutilización y el reciclaje, tanto en áreas abundantes como escasas en agua [48].

La reutilización del agua implica el uso secuencial de un mismo volumen de agua para diferentes propósitos o usuarios de manera organizada [48]. Para lograrlo, se emplean tecnologías de regeneración, tanto convencionales como avanzadas. En los últimos años, se han introducido



nuevas técnicas, como el uso de membranas osmóticas en biorreactores para la recuperación de aguas residuales y la producción de energía, así como el desarrollo de materiales prometedores que funcionan como acuaporinas para la desalinización y recuperación del agua [49-50].

En términos de uso, la agricultura es el sector más estrechamente vinculado a la reutilización del agua debido a la alta demanda de este recurso. Sin embargo, la calidad del agua de reutilización se convierte en un tema relevante, especialmente en el ámbito agrícola, debido a los riesgos asociados con patógenos microbianos. Aproximadamente una décima parte de la población mundial consume cultivos regados con aguas residuales, lo que destaca la necesidad de mantener estándares de calidad adecuados para proteger la salud pública [48, 51-52].

A nivel internacional, varios países han incrementado los proyectos de reutilización del agua, como Israel, donde el suministro de agua regenerada representa aproximadamente el 15 % de los recursos hídricos. Asimismo, en California, se ha puesto en marcha la planta de reciclaje de agua Edward C. Little, que abastece un programa regional de 150 millones de galones diarios de agua reciclada. Australia también ha impulsado la primera planta de ósmosis inversa para reutilización potable directa [50].

A pesar de los beneficios, la reutilización del agua enfrenta desafíos importantes, incluida la aceptación pública [53]. La percepción de la calidad del agua tratada, especialmente en el ámbito agrícola, está vinculada a la necesidad de garantizar la eliminación efectiva de patógenos y microcontaminantes [54-55]. Los productores agrícolas pueden tener reservas en el uso de aguas tratadas, dada la preocupación por la salud pública y posibles daños a los cultivos. Para superar estos obstáculos, se requiere el desarrollo de soluciones que aborden las inquietudes del público y la confianza en la reutilización a través de la



colaboración de científicos sociales, ingenieros y profesionales del agua. La vigilancia en tiempo real también se muestra como una estrategia clave para gestionar los riesgos asociados a la reutilización [56].

La reutilización del agua se presenta como una solución prometedora para enfrentar la escasez hídrica y garantizar un uso sostenible de este recurso valioso. Sin embargo, su implementación exitosa requiere un enfoque integral que involucre aspectos técnicos, sociales y de gestión para asegurar la viabilidad y aceptación de estas prácticas en el futuro.

## **6. Monitoreo de la calidad del agua**

El monitoreo de la calidad del agua ha sido un tema ampliamente estudiado desde la década de 1940. A pesar de los esfuerzos realizados, todavía no existe una estrategia práctica y universalmente aceptada que respalde todas las fases de los programas de monitoreo de la calidad del agua. Desde tiempos remotos, la gestión y preservación del agua ha sido una preocupación central para las civilizaciones, remontándose incluso al año 2880 a.C. Sin embargo, parte de este conocimiento valioso se perdió durante la Edad Media y solo fue reintroducido a mediados del siglo XIX, debido a la mala calidad del agua causada por la industrialización. Desde entonces, la calidad del agua de ríos, lagos y aguas subterráneas ha sido un desafío constante, generando gran preocupación en la comunidad científica y gubernamental [57].

Con el creciente reconocimiento de la importancia de la calidad del agua para el desarrollo sostenible, muchos países han trabajado en reformas para mejorar la gobernanza del agua, adoptando un enfoque integrado que considere aspectos sociales, ambientales y económicos. El monitoreo de la calidad del agua se define como la medición y observación



estandarizada a largo plazo del medio ambiente y las tendencias [57]. Este monitoreo se lleva a cabo con diversos propósitos, entre ellos, caracterizar las aguas, identificar cambios o tendencias a lo largo del tiempo, detectar problemas específicos existentes o emergentes en la calidad del agua, recopilar información para diseñar programas de prevención o remediación de la contaminación, evaluar el cumplimiento de las normas sobre contaminación y responder a emergencias como derrames e inundaciones [58].

El estudio de la calidad del agua es esencial para alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas (ODS), incluidos el acceso a agua limpia y saneamiento (ODS 6), la erradicación del hambre (ODS 2) y la mejora de la salud (ODS 3) [59]. Los parámetros fundamentales para el monitoreo de la calidad del agua, como las condiciones físicas, sustancias químicas y biológicas, se han establecido debido a su facilidad de medición y porque proporcionan un punto de partida sólido para países en desarrollo. Este seguimiento de la calidad del agua se vincula con otros ODS, lo que refleja el papel multifacético que juega en diversas situaciones [60-61].

El monitoreo de la calidad del agua potable es especialmente relevante para mitigar los riesgos a la salud pública. Por lo tanto, la mayoría de los países tienen requisitos reglamentarios para el monitoreo de la calidad del agua destinada al consumo humano. Estas regulaciones incluyen el monitoreo de vigilancia, el cual guía los procedimientos de tratamiento y asegura el suministro de agua segura a los consumidores [62]. La Organización Mundial de la Salud (OMS) ha desarrollado guías y normas para la calidad del agua potable, basadas en la seguridad del agua, objetivos de salud y vigilancia independiente. Estas guías respaldan las regulaciones nacionales, al proporcionar buenas prácticas en la gestión y vigilancia de riesgos en el suministro de agua [63].



Varios países han adoptado enfoques específicos para el monitoreo de la calidad del agua. Por ejemplo, Canadá ha desarrollado un manual para evaluar y optimizar redes de monitoreo de calidad del agua en todo su territorio, brindando estrategias y herramientas para mejorar la eficiencia y la cobertura [64]. En contraste, Nigeria ha adoptado un enfoque integrado y preventivo para la gestión de la calidad del agua, asegurando una protección integral desde la fuente hasta el consumo, con normas realistas y ejecutables y una agencia de vigilancia independiente [65-66].

Por otro lado, la transmisión de enfermedades a través del agua contaminada por vectores ha sido objeto de estudio en África, utilizando datos hidrológicos para desarrollar un enfoque que permita clasificar lo efímero de la red fluvial y analizar la epidemiología de la esquistosomiasis en términos ecológicos y socioeconómicos [67].

El uso de sensores ha emergido como una solución para mejorar la eficiencia del monitoreo de la calidad del agua. En varios estudios se han desarrollado sistemas de monitoreo con una red multisensor inalámbrica de bajo costo, que permite medir parámetros fisicoquímicos del agua y transmitir datos casi en tiempo real [68]. Los sensores también se han implementado en sistemas autónomos, como los vehículos de superficie no tripulados multifunción (MF-USV), que monitorean y limpian la superficie del agua [69]. Además, se espera que, en el futuro, la nanotecnología permita desarrollar sensores más pequeños y con capacidades de detección múltiple de contaminantes [70].

Para resolver los problemas del transporte de muestras, evitar inconsistencias y sesgos en los resultados de las pruebas de agua y agilizar la toma de decisiones, un grupo de investigadores desarrollaron un método portátil para la detección casi en tiempo real de la calidad del agua. El objetivo del estudio fue el de ensamblar todo el equipo necesario



(bomba de vacío, unidad de filtración, minicentrífuga, PCR, consumibles asociados) para el análisis metagenómico de muestras de agua, desde el muestreo hasta la preparación de bibliotecas de secuenciación y la generación y análisis de datos. Además de demostrar la viabilidad en el monitoreo de la calidad del agua en el sitio. Se puede concluir que el monitoreo de la calidad del agua casi en tiempo real de forma portátil es factible en entornos industriales y de recursos limitados, de igual forma los datos metagenómicos permitieron la detección simultánea de varios patógenos e indicadores fecales [59].

El monitoreo de la calidad del agua es un desafío complejo y esencial para el desarrollo sostenible. Los avances en tecnología y enfoques innovadores han mejorado la eficiencia y efectividad de este monitoreo, lo que beneficia a la sociedad al garantizar la salud pública y la preservación de los recursos hídricos.

## **7. Tecnologías emergentes**

En los últimos años, el interés en identificar y analizar temas innovadores en la ciencia y la tecnología ha aumentado significativamente. La globalización de la ciencia y la tecnología ha abierto la posibilidad de implementar soluciones técnicas de alto rendimiento en diferentes contextos socioeconómicos y geográficos. El término "tecnologías emergentes" se refiere a avances significativos en campos como la computación cuántica, inteligencia artificial, robótica y fabricación aditiva, que presentan nuevos riesgos y oportunidades comerciales relacionados con el agua [71].

En el campo de la purificación del agua existen diversas tecnologías disponibles tales como: el intercambio iónico, la ultrafiltración y la osmosis



inversa, las cuales permiten obtener agua potable de calidad [72]. Sin embargo, la presencia de determinados contaminantes en las aguas residuales como es el caso del ión cobre, plantea desafíos adicionales. Para abordar este problema, se han aplicado modelos de inteligencia artificial, como la optimización de cuadrícula, la red neuronal artificial y la máquina de vectores de soporte, para predecir la adsorción de iones de cobre en arcilla Attapulgita a partir de soluciones acuosas. Estos modelos han demostrado ser eficientes en el monitoreo y simulación de la adsorción de cobre de soluciones acuosas en arcilla Attapulgita [73].

Por otro lado, para tratar aguas residuales con alto contenido de sal y lixiviados de vertederos de manera más eficiente y económica, se ha diseñado un secador rotatorio con perlas cerámicas de alúmina inertes (ACB) capaz de utilizar el calor residual de los gases de escape para su funcionamiento. Este secador ha demostrado una alta capacidad de evaporación para aguas residuales con alto contenido de sal y lixiviados de vertederos, contribuyendo a reducir los costos de tratamiento [74].

Otros ejemplos de aplicación de tecnologías emergentes se centran en el proceso de ultrafiltración de aguas residuales. Específicamente, se ha identificado un problema de polarización de concentración e incrustación de la membrana. Para mitigar estos efectos indeseables, se ha propuesto el pretratamiento de ozonización suave, que ha demostrado reducir de manera efectiva la polarización de concentración y la incrustación de la membrana, mejorando el rendimiento del proceso de ultrafiltración [75].

Los residuos de antibióticos en aguas residuales son motivo de preocupación, y se han explorado algunas tecnologías rentables para su eliminación. Los sistemas electroquímicos microbianos se presentan como una alternativa prometedora a las técnicas convencionales. Se ha investigado la eficiencia de eliminación de antibióticos mediante sistemas



microbianos autónomos e híbridos, y se ha concluido que ambos tienen un gran potencial para esta aplicación [76].

En el ámbito de los contaminantes emergentes (particularmente aquellos que afectan los sistemas endocrinos de los seres humanos y la vida silvestre), se han implementado cambios de fase, como la adsorción en matrices sólidas y procesos de membrana, seguidos de tratamientos biológicos y procesos de oxidación avanzada para su tratamiento [77].

La integración de tecnologías digitales como la inteligencia artificial y el machine learning, ha demostrado ser efectiva en mejorar la resiliencia y eficiencia de los servicios públicos de agua. Por ejemplo, el análisis de datos recopilados por medidores inteligentes permite una mejor gestión de la demanda de agua y la reducción de fugas en la red de distribución y alcantarillado. Además, el internet de las cosas ha facilitado la implementación de sistemas habilitados para internet con sensores para monitorear diferentes parámetros de calidad del agua [78-79].

Adicionalmente, es importante mencionar que los avances en robótica, biónica, mecánica y electrónica han hecho posible la implementación de delfines robóticos para el monitoreo de la calidad del agua. Estos robots bioinspirados ofrecen alta maniobrabilidad, velocidad y bajo nivel de ruido en entornos submarinos, lo que los convierte en una herramienta prometedora para el monitoreo móvil del agua [80].

Finalmente, es relevante mencionar que las tecnologías emergentes y los avances en el monitoreo de la calidad del agua han abierto nuevas posibilidades para abordar los desafíos relacionados con el suministro de agua potable y el tratamiento de aguas residuales. La aplicación de modelos de inteligencia artificial, sistemas microbianos y tecnologías digitales ha demostrado ser eficaces en mejorar la eficiencia y



sostenibilidad de estos procesos, lo que brinda oportunidades para una gestión más efectiva de los recursos hídricos.

## 8. Educación y Capacitación

En materia de educación y capacitación, a nivel internacional existen diferentes programas y proyectos relacionados con el tema del agua, algunos de los más importantes se describen a continuación.

La Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) cuenta con el Programa *Water Education*, cuyo objetivo es apoyar en la mejora de las capacidades de educación terciaria sobre el agua, particularmente en los países en desarrollo. Además de promover el desarrollo profesional continuo de los involucrados en los diferentes sectores del agua, así como desarrollar directrices, documentos informativos, prototipos de programas de desarrollo profesional y estudios de caso relacionados con la educación hídrica. En este sentido, es relevante mencionar que México ha participado en los talleres regionales de Educación del Agua en las escuelas a través de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) y el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA).

Las Naciones Unidas cuentan con el *Water Education Project*, este proyecto tiene como objetivo sensibilizar y educar a la comunidad sobre la importancia de los recursos hídricos en las regiones de Cerrado y Mata Atlántica (Brasil, Paraguay y Argentina), y como se ven afectados por el cambio climático. El proyecto establece proyectos de demostración para mostrar a las comunidades como pueden implementar prácticas sostenibles del uso del agua, también incluye un sistema de recolección de agua y se establecerá un programa de seguimiento que incluirá reuniones comunitarias.



Por otro lado, la Fundación para la Educación del Agua ofrece diversos programas educativos centrados en el agua. Su programa de líderes del agua, de un año de duración, capacita a líderes comunitarios emergentes de diversas procedencias, incluyendo comunidades minoritarias, en cuestiones relacionadas con el agua. Además, la fundación coordina en California el Proyecto WET, un programa global de educación sobre el agua para educadores de todos los niveles. Estudiantes de grados K-14 participan en estos programas, adquiriendo conocimientos sobre la historia, geografía y ciencia del agua, así como comprensión de las complejas decisiones relacionadas con este tema. Todos los materiales educativos de la fundación cumplen con los estándares de enseñanza de ciencia e historia/ciencias sociales de California y están diseñados para alinearse con los requisitos de cada nivel educativo.

Otro Programa educativo es el *Erasmus Mundus master in Hydroinformatics and Water Management* de la Universitat Politècnica de Catalunya. Este Programa fue desarrollado por el consorcio EuroAquaue con la cooperación de varias universidades europeas, ofrece un aprendizaje de última generación sobre el uso de herramientas hidroinformáticas para la gestión inteligente del agua y una plataforma para que las partes interesadas interactúen e intercambien ideas sobre la necesidad de fomentar la próxima generación de profesionales altamente calificados en la gestión aplicada de los recursos hídricos para responder a las necesidades del mercado laboral en Europa y en el mundo. Finalmente, es relevante mencionar que existen diferentes Programas de Licenciatura y Posgrado en temas relacionados con el agua. De acuerdo con el ranking de U.S News & World Report, las mejores universidades para el estudio de los recursos hídricos son: University of Technology Sydney (Australia), Tsinghua University (China) y University of Chinese Academy of Sciences (China).



### **c) Justificación**

El sexto objetivo del Desarrollo Sostenible de Agenda 2030 de la Organización de las Naciones Unidas, garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos. No obstante, en la actualidad, miles de millones de personas en el mundo no cuentan con agua potable y no tienen un sistema de saneamiento seguro. Tomando en cuenta esta preocupación mundial, la Organización de las Naciones Unidas organizó la conferencia sobre el Agua 2023, en la que se alertó a la comunidad mundial de la necesidad de acciones urgentes frente a la crisis del agua. En este contexto, el Tecnológico Nacional de México, comprometido con la preocupación mundial en materia de agua y con el desarrollo sostenible del país, creó la agenda estratégica denominada Agua Limpia y Saneamiento, en la cual se han programado diferentes objetivos, metas, acciones, indicadores y fechas compromiso, en temas como la captación de agua, cuidado del agua, métodos de tratamiento de agua potable y residual, recuperación y reúso, monitoreo de la calidad y tecnologías emergentes.

La agenda está constituida por un capítulo Nacional en el que solo se abordará la realización de actividades dentro de la República Mexicana y un capítulo internacional, en el que se plantea el desarrollo de actividades en conjunto con otras Instituciones de Educación Superior o Centros de Investigación extranjeras.

Finalmente, es importante resaltar que todos los países incluido México, debería seguir la filosofía que siguió Singapur e Israel (líderes en manejo inteligente del agua), en la que se destaca que, si un país o ciudad desea cambiar la forma en que utiliza y maneja sus recursos hídricos, debe primero cambiar la idea que la gente tiene del agua y esto se logra educando a los ciudadanos.



AGENDA ESTRATÉGICA  
DEL TecNM

## "AGUA LIMPIA Y SANEAMIENTO"

Descripción de actividades, objetivos, metas, acciones e indicadores de las actividades a realizar con vinculación internacional.





## **4.2 Descripción de actividades, objetivos, metas, acciones e indicadores de las actividades con vinculación internacional**

Las actividades que se desarrollarán en la agenda estratégica del TecNM Agua Limpia y Saneamiento con vinculación internacional se describen a continuación.

### ***1) Conformación de una red de investigación con vinculación internacional***

Se conformará una red de investigación asociada a la agenda estratégica del TecNM Agua Limpia y Saneamiento, en la que participarán los campus de TecNM que coordinan cada eje estratégico. Esta red contará con la participación de los profesores e investigadores de las Universidades y Centros de investigación extranjeros citados en la Tabla 17.

### ***2) Despliegue del Diplomado Básico de Fundamentos del Agua Limpia y Saneamiento en otros idiomas***

En una segunda etapa, el Diplomado Básico de Fundamentos del Agua Limpia y Saneamiento será traducido a otros idiomas y será promocionado a nivel internacional a través de diversas plataformas digitales y medios de comunicación oficial en las IES y centros de investigación citados en la Tabla 17 y posteriormente en otras Instituciones en el extranjero.



**Tabla 17.** Vinculación Internacional de los investigadores que coordinan la agenda estratégica del TecNM agua limpia y saneamiento

Eje estratégico	Coordinador	Institución vinculada	Contacto
<b>1. Captación de Agua</b>	TecNM campus Villahermosa	Universidad Francisco de Paula Santander seccional Ocaña <b>(Colombia)</b>	Dra. María Angelica Álvarez Bayona
<b>2. Cuidado del Agua</b>	TecNM campus Toluca	Universidad Rovira i Virgili de Tarragona <b>(España)</b>	Dra. Sandra Contreras Iglesias
<b>3. Métodos de tratamiento de agua potable</b>	TecNM campus Boca del Río	Universidad Distrital Francisco José de Caldas <b>(Colombia)</b>	Dra. Clara Inés Buritica-Arboleda
<b>4. Métodos de tratamiento de aguas residuales</b>	TecNM campus Boca del Río	Universidad Politécnica de Valencia <b>(España)</b>  Universidad Autónoma de Colombia <b>(Colombia)</b>	Dr. Iván Valencia Salazar Dra. Elisa Peñalvo López Dr. Carlos Arturo Ramírez-Escobar
<b>5. Recuperación y reúso del agua</b>	TecNM campus Tijuana	Programa Fronterizo de Educación Ambiental  San Diego State University <b>(Estados Unidos)</b>	Margarita Diaz  Natalie Mladenov Linda Lara Jacobo
<b>6. Monitoreo de la calidad del agua</b>	TecNM campus Aguascalientes	Instituto Nacional del Carbón (CSIC)  Universidad de Extremadura <b>(España)</b>  Universidad de Nottingham <b>(Inglaterra)</b>  Thiagarajar College <b>(India)</b>  Universidade de Lisboa <b>(Portugal)</b>	Dr. Miguel Ángel Montes Morán  Dr. Carlos Durán Valle  Dra. Gabriela Durán Jiménez  Dr. Sathish Kumar Kamaraj  Ana Paula Carvalho
<b>7. Tecnologías emergentes</b>	TecNM Valle de Etna	CIRCE—Research Centre for Energy Resources and Consumption <b>(España)</b>	Dr. Alessandro A. Carmona-Martínez
<b>8. Educación y capacitación (eje transversal)</b>	Aguascalientes, Boca del Río, Tijuana, Toluca, Valle de Etna y Villahermosa.	Todas las Instituciones citadas en cada eje	



### **3) Conformación del Capítulo Estudiantil Agua Limpia y Saneamiento en diferentes campus del TecNM**

Se conformarán capítulos estudiantiles de Agua limpia y Saneamiento en diferentes campus del TecNM, los cuales contarán con la vinculación de otros capítulos estudiantiles de México, los cuales cuentan con vinculación internacional como el capítulo estudiantil de la American Water Works Association (AWWA) de la Universidad Autónoma de Nuevo León y El capítulo estudiantil de la Society for Underwater Technology (SUT) y Texas A&M University del Instituto Tecnológico del Petróleo y Energía.

### **4) Capacitación y desarrollo de proyectos de investigación para empresas**

El Diplomado Básico de Fundamentos del agua limpia y saneamiento será ofertado en diferentes empresas mexicanas y transnacionales instaladas en México, con la finalidad de que éste sea promocionado en diferentes sectores de la sociedad. Además, se desarrollarán proyectos específicos para varias empresas transnacionales localizadas en diferentes estados y se ofertarán cursos de capacitación en temas relacionados con los ejes estratégicos de la agenda.

### **5) Organización del Primer Congreso Internacional del TecNM Agua Limpia y Saneamiento.**

Se organizará el primer Congreso Internacional del TecNM Agua Limpia y Saneamiento, en colaboración con la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), IES, Centros de Investigación y con la participación del Representante de la ONU en México. La propuesta contempla que el Congreso se realice en el marco de la celebración del día mundial del agua



en el año de 2025 y los tópicos que se abordarán serán cada uno de los ejes estratégicos de la agenda (*Captación de agua, cuidado del agua, métodos de tratamiento de agua potable, métodos de tratamiento de aguas residuales, recuperación y reúso de agua, monitoreo de la calidad del agua, tecnologías emergentes, educación y capacitación*).

### **6) Participación colaborativa en los 15 proyectos hídricos prioritarios de México**

Dentro de las actividades principales de la agenda estratégica del TecNM agua limpia y saneamiento se contempla la participación colaborativa de las Instituciones que coordinan la agenda y de las Instituciones extranjeras citadas en la 17, en los 15 proyectos hídricos prioritarios de México (Ver Tabla 18), los cuáles son coordinados por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). En la Tabla 18 se cita el nombre del proyecto, la ubicación de desarrollo, la descripción general, el eje temático de la agenda y campus participante. Adicionalmente, en la Fig. 9 se muestra la ubicación de los estados de la República Mexicana en los que se desarrollan los 15 proyectos hídricos y los diferentes campus del TecNM cercanos que pueden colaborar activamente en los proyectos.



**Tabla 18.** Proyectos hídricos prioritarios de México y eje estratégico de la agenda relacionado

Proyecto	Ubicación	Resumen	Eje estratégico/Campus participante
<b>1. Acueducto El Cuchillo II</b>	Nuevo León	El acueducto El Cuchillo II reforzará el suministro de agua doméstica en la zona metropolitana de Monterrey en beneficio de 5.4 millones de habitantes. Dotará cinco metros cúbicos por segundo de agua proveniente de la presa El Cuchillo.	<i>Captación de agua</i>  Campus Villahermosa
<b>2. Acueducto López Mateos Xpujil</b>	Calakmul, Campeche	El proyecto se ubica en los Municipios de Escárcega y Calakmul. El Acueducto forma parte del Proyecto de Desarrollo para el Municipio de Calakmul (PDMC) planteado con el paso del Tren Maya.	<i>Captación de agua</i>  Campus Villahermosa
<b>3. Presa El Zapotillo</b>	Jalisco	El proyecto de la Presa El Zapotillo consiste en el diseño de un nuevo esquema de conducción del agua a través de un acueducto que conecte esta presa con la presa de El Salto y permita articular el sistema La Red Calderón para llevar agua a la ciudad de Guadalajara.	<i>Captación de agua</i>  Campus Villahermosa
<b>4. Canal Centenario y zona de riego D. R. Alejandro G. M</b>	Nayarit	EL proyecto busca proveer de agua durante la época de estiaje a 44,401 ha de agricultura de temporal, mediante la construcción de un canal de riego (canal Centenario) que se unirá al canal de conducción del Módulo III. A	<i>Captación de agua</i>  Campus Villahermosa



<p><b>5. Presa La Libertad</b></p>	<p>Nuevo León</p>	<p>La Presa La libertad abastecerá de agua potable a una población estimada de 500 mil habitantes distribuidos en 24 municipios de Nuevo León.</p>	<p><i>Captación del agua</i>  Campus Villahermosa</p>
<p><b>6. Presa Santa María y Zona de Riego</b></p>	<p>Sinaloa</p>	<p>El proyecto incluye la construcción de presa de almacenamiento y los principales objetivos son aumentar la producción de productos agrícolas de la zona y mejorar las condiciones de vida de los productores.</p>	<p><i>Captación de agua</i>  Campus Villahermosa</p>
<p><b>7. Zona de Riego Presa Picachos y Acueducto Picachos</b></p>	<p>Sinaloa</p>	<p>El proyecto de la presa Picachos consiste en la construcción del acueducto que tiene el propósito de proveer agua potable a la cabecera municipal de Concordia que, a pesar de su cercanía con la presa Picachos, no tiene infraestructura hidráulica suficiente para la entrega permanente de agua de uso doméstico.</p>	<p><i>Captación de agua</i>  Campus Villahermosa</p>
<p><b>8. Agua Saludable para la Laguna</b></p>	<p>Coahuila - Durango</p>	<p>El proyecto comprende un conjunto de estructuras (obra de toma, acueducto, planta potabilizadora y tanque de llegada), las cuales son obras de infraestructura hidráulica para el suministro de agua potable destinadas a uso público-urbano en diversas localidades, principalmente de los municipios de Lerdo y Gómez Palacio, Durango. La finalidad de las obras es disminuir la sobreexplotación de la</p>	<p><i>Captación de agua</i> Campus Villahermosa  <i>Métodos de tratamiento de agua potable</i> Campus Boca del Río  <i>Cuidado del agua</i> Campus Toluca</p>



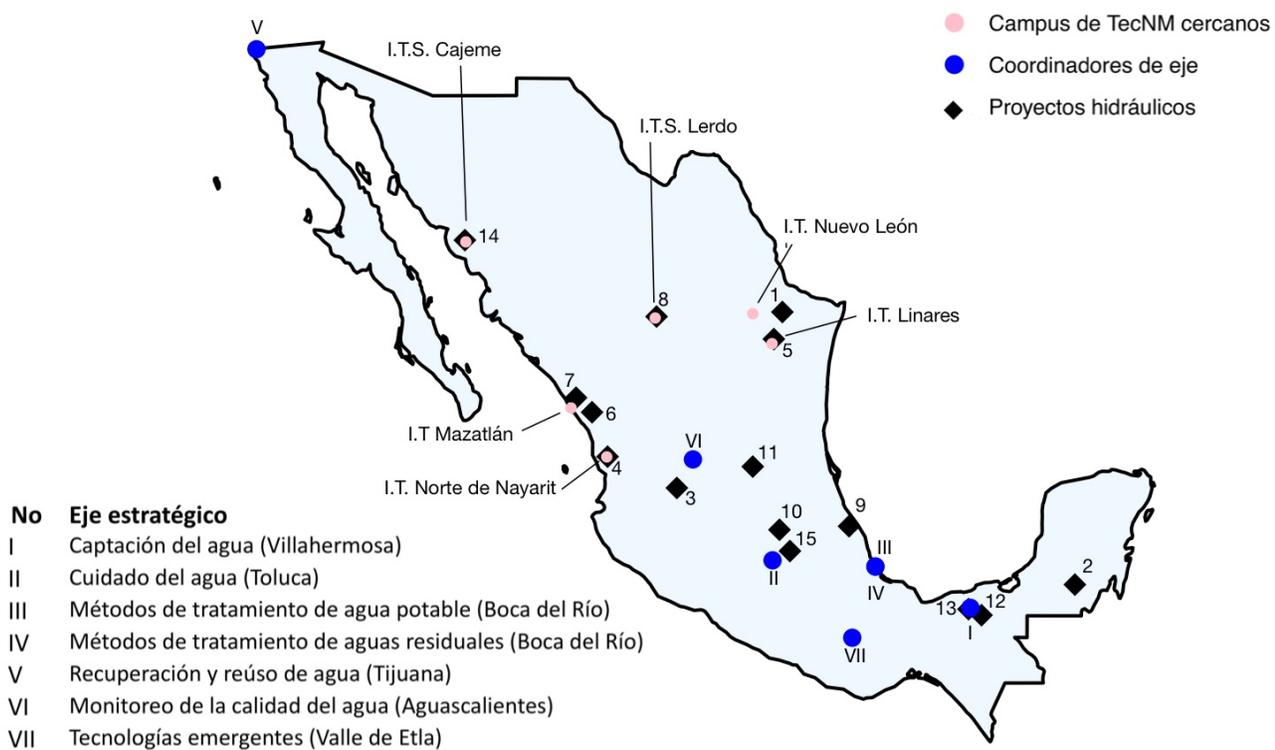
		principal fuente de abastecimiento de agua.	<i>Monitoreo de la calidad del agua</i> Campus Aguascalientes
<b>9. Obras de Protección para Paso Largo</b>	Veracruz	El proyecto incluye obras de protección contra inundaciones para Paso Largo, Veracruz. En junio iniciará la construcción y rehabilitación de 7.2 kilómetros de bordos sobre ambas márgenes del río Bobos para protección de las comunidades de Paso Largo, Constanca y La Reforma.	<i>Captación del agua</i>  Campus Villahermosa
<b>10. Plan Hídrico Tula de Allende</b>	Hidalgo	El proyecto tiene como actividad principal el desazolve y ampliación del río Tula. Protocolo de operación conjunta para la temporada de lluvias para el sistema hidrológico del Valle de México y el estado de Hidalgo.	<i>Captación de agua</i> Campus Villahermosa
<b>11. Sistema El Realito</b>	San Luis Potosí	El Sistema de Agua El Realito beneficiará directamente a 400 mil habitantes de la zona metropolitana de San Luis Potosí con el suministro de 1,000 litros de agua por segundo; evitará la sobreexplotación del acuífero del Valle de San Luis Potosí y mejorará la calidad del agua.	<i>Cuidado del agua</i> Campus Toluca  <i>Monitoreo de la calidad del agua</i> Campus Aguascalientes
<b>12. Planta Potabilizadora Benito Juárez</b>	Tabasco	El proyecto contempla construir la planta potabilizadora Benito Juárez (San Carlos) en el municipio de Macuspana, Tabasco.	<i>Captación de agua</i> Campus Villahermosa  <i>Métodos de tratamiento de agua potable</i>



			<p>Campus Boca del Río</p> <p><i>Monitoreo de la calidad del agua</i> Campus Aguascalientes</p>
<b>13. Planta Potabilizadora Carrizal II</b>	Tabasco	<p>El proyecto consiste en la construcción de una nueva planta potabilizadora de agua con una capacidad de producción de 1000 litros por segundo.</p>	<p><i>Captación de agua</i> Campus Villahermosa</p> <p><i>Métodos de tratamiento de agua potable</i> Campus Boca del Río</p> <p><i>Monitoreo de la calidad del agua</i> Campus Aguascalientes</p>
<b>14. Plan de Justicia Yaqui</b>	Sonora	<p>El plan de justicia del pueblo Yaqui, aborda tres temas principales:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Tierra y Territorio</li> <li>2. Derecho al Agua</li> <li>3. Bienestar Integral y Cultura</li> </ol> <p>Para resolver el problema de agua de uso doméstico, se acuerda construir el "Acueducto Yaqui" con su respectiva planta potabilizadora de agua.</p>	<p><i>Captación de agua</i> Campus Villahermosa</p> <p><i>Cuidado del agua</i> Campus Toluca</p> <p><i>Educación y Capacitación</i> Todos los campus</p> <p><i>Métodos de tratamiento de agua potable</i> Campus Boca del Río</p> <p><i>Monitoreo de la calidad del agua</i> Campus Aguascalientes</p>
<b>15. Parque Ecológico Lago de Texcoco</b>	México	<p>El objetivo es la constitución de un área clave para el balance hidrológico del Valle de México, incluyendo la</p>	<p><i>Captación de agua</i> Campus Villahermosa</p>



		reducción de la sobreexplotación del acuífero y, contribuyendo al abastecimiento de agua potable para la zona oriente del valle.	<i>Cuidado del agua</i> Campus Toluca
--	--	--	--



**Fig. 9.** Ubicación de los 15 Proyectos hídricos prioritarios de México y de los campus del TecNM cercanos



## **7) Afiliación a la Asociación Nacional de Empresas de Agua y Saneamiento de México A.C.**

El Tecnológico Nacional de México se afiliará a la Asociación Nacional de Empresas de Agua y Saneamiento de México A.C., con la finalidad de participar en las diferentes actividades y cursos de capacitación Nacionales e Internacionales que organiza dicha asociación, la cual cuenta con más de 40 años de experiencia en México en temas relacionados con el agua y su saneamiento.

## **8) Plataforma de la Agenda Estratégica de TecNM Agua Limpia y Saneamiento**

Se desplegará una plataforma virtual de la agenda estratégica del TecNM agua limpia y saneamiento, la cual estará alojada en la página del TecNM. Esta plataforma contendrá todas las versiones y actualizaciones de la agenda, así como los resultados más relevantes de las diferentes actividades contempladas dentro de la programación.

En resumen, en la Tabla 19 se muestran los objetivos, metas, acciones, indicadores y fechas compromiso de las actividades contempladas en el capítulo internacional de la agenda.



**Tabla 19.** Objetivos, metas, acciones, indicadores y fechas compromiso para el desarrollo de las actividades contempladas en el capítulo internacional de la Agenda

<b>Objetivos</b>	<b>Metas</b>	<b>Acciones</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Fecha compromiso</b>
1. Conformar una red de investigación relacionada con el agua limpia y saneamiento con vinculación internacional.	Contar con una red de investigación con vinculación internacional registrada ante TecNM en el tema de agua limpia y saneamiento.	Firma de convenios de colaboración entre las Instituciones que conforman la red.	Registro de la Red ante TecNM.	Septiembre 2023
2. Ofertar el Diplomado Básico de Fundamentos del Agua Limpia y Saneamiento en otros idiomas en el extranjero.	Desplegar el Diplomado Básico de Fundamentos del Agua Limpia y Saneamiento en otros idiomas, en diferentes IES, centros de investigación y empresas extranjeras.	Traducir el contenido temático del Diplomado Básico de Fundamentos del Agua Limpia y Saneamiento.	Despliegue del Diplomado en el Extranjero.	Agosto 2024
3. Conformar capítulos estudiantiles de Agua limpia y Saneamiento	Conformación de diversos capítulos estudiantiles de	Firma de convenios de colaboración con otras IES que cuenten	Registro de los capítulos estudiantiles de Agua Limpia y Saneamiento.	Octubre de 2023



en diferentes campus del TecNM	agua limpia y saneamiento	con capítulos estudiantiles con vinculación internacional.		
4. Ofertar cursos de capacitación en temas relacionados con los ejes estratégicos, a empresas mexicanas y transnacionales y desarrollo de proyectos específicos.	Vinculación Nacional e Internacional con empresas mexicanas y transnacionales instaladas en México.	Firma de convenios de colaboración con empresas transnacionales.	Convenios de colaboración con empresas transnacionales.	Enero 2024
5. Organizar el Primer Congreso Internacional Agua Limpia y Saneamiento del TecNM	Llevar a cabo el primer Congreso Internacional de Agua Limpia y Saneamiento del TecNM en México	Despliegue de la página web del Congreso, con los tópicos de análisis, el comité organizador y la logística general del evento.	Realización del Primer Congreso Internacional de Agua Limpia y Saneamiento.	Marzo 2025
6. Participar en los 15 proyectos hídricos prioritarios de México	Desarrollar actividades colaborativas con las Dependencias y/o Instituciones involucradas en los 15 proyectos	Firma de convenio de colaboración con las Dependencias y/o Instituciones involucradas en los 15 proyectos	Convenios de colaboración con la Dependencias y/o Instituciones involucradas en los 15 proyectos hídricos	Septiembre 2023



	hídricos prioritarios de México.	hídricos prioritarios de México.	prioritarios de México.	
7. Registrar al Tecnológico Nacional de México como parte de los integrantes de la Asociación Nacional de Empresas de Agua y Saneamiento de México A.C.	Ser parte de la Asociación Nacional de Empresas de Agua y Saneamiento de México A.C.	Realizar el procedimiento administrativo para afiliar al TecNM a la Asociación Nacional de Empresas de Agua y Saneamiento de México A.C.	Afiliación a la Asociación Nacional de Empresas de Agua y Saneamiento de México A.C.	Septiembre de 2023
8. Crear la plataforma virtual de la agenda estratégica del TecNM agua limpia y saneamiento	Contar con una plataforma virtual de la agenda, en donde se compartan los resultados derivados de las actividades de la agenda	Realizar los trámites administrativos necesarios para la creación de la plataforma virtual	Despliegue de la plataforma virtual	Agosto 2024

## Referencias

- [1] M. Kummu *et al.*, "The world's road to water scarcity: Shortage and stress in the 20th century and pathways towards sustainability," *Sci Rep*, vol. 6, Dec. 2016, doi: 10.1038/srep38495.
- [2] D. Vanham *et al.*, "Articles The number of people exposed to water stress in relation to how much water is reserved for the environment: a global modelling study," 2021. [Online]. Available: [www.thelancet.com/](http://www.thelancet.com/)



- [3] P. D'Odorico *et al.*, "Global virtual water trade and the hydrological cycle: Patterns, drivers, and socio-environmental impacts," *Environmental Research Letters*, vol. 14, no. 5. Institute of Physics Publishing, Apr. 26, 2019. doi: 10.1088/1748-9326/ab05f4.
- [4] C. Prudhomme *et al.*, "Hydrological droughts in the 21st century, hotspots and uncertainties from a global multimodel ensemble experiment," *Proc Natl Acad Sci U S A*, vol. 111, no. 9, pp. 3262–3267, Mar. 2014, doi: 10.1073/PNAS.1222473110/SUPPL\_FILE/PNAS.201222473SI.PDF.
- [5] T. Oki and S. Kanae, "Global hydrological cycles and world water resources," *Science*, vol. 313, no. 5790, pp. 1068–1072, Aug. 2006, doi: 10.1126/SCIENCE.1128845.
- [6] I. Aguilar Benítez, G. Monforte, I. Aguilar Benítez, and G. Monforte, "Servicios públicos del agua, valor público y sostenibilidad: El caso del área metropolitana de Monterrey," *Gestión y política pública*, vol. 27, no. 1, pp. 149–179, 2018, Accessed: Jul. 19, 2023. [Online]. Available: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-10792018000100149&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-10792018000100149&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
- [7] T. Doeffinger and J. W. Hall, "Water Stress and Productivity: An Empirical Analysis of Trends and Drivers," *Water Resour Res*, vol. 56, no. 3, Mar. 2020, doi: 10.1029/2019WR025925.
- [8] E. A. Wolters, B. S. Steel, M. U. A. Siddiqi, and M. Symmes, "Public Water Policy Knowledge and Policy Preferences in the American West," *Int J Environ Res Public Health*, vol. 19, no. 5, Mar. 2022, doi: 10.3390/IJERPH19052742.
- [9] M. Pedro-Monzonís, A. Solera, J. Ferrer, T. Estrela, and J. Paredes-Arquiola, "A review of water scarcity and drought indexes in water resources planning and management," *J Hydrol (Amst)*, vol. 527, pp. 482–493, Aug. 2015, doi: 10.1016/j.jhydrol.2015.05.003.
- [10] R. Willem Hofste, P. Reig, and L. Schleifer, "17 Countries, Home to One-Quarter of the World's Population, Face Extremely High Water Stress," *World Resources Institute*, 2019.
- [11] ONU, "The-Sustainable-Development-Goals-Report-2019\_Spanish," 2019.
- [12] N. T. Roba, A. K. Kassa, D. Y. Geleta, and B. K. Hishe, "Achievements, challenges and opportunities of rainwater harvesting in the Ethiopia context: a review," *Water Supply*, vol. 22, no. 2, pp. 1611–1623, Feb. 2022, doi: 10.2166/WS.2021.330.



- [13] J. Berking, F. Jülich, and B. Schütt, "Ancient Water Harvesting Methods in the Drylands of the Mediterranean and Western Asia GEO-IT-The Technology of Data Acquisition for Sustainable Development and Crisis Management View project Mongolian-German 'Karakorum' expedition View project," 2015. [Online]. Available: <http://journal.topoi.org>
- [14] G. Howard and J. Bartram, "Sanitation and Health Programme," *World Health Organization*.
- [15] E. Morales Rojas, E. A. Díaz Ortiz, C. A. Medina Tafur, L. García, M. Oliva, and N. B. Rojas Briceño, "A Rainwater Harvesting and Treatment System for Domestic Use and Human Consumption in Native Communities in Amazonas (NW Peru): Technical and Economic Validation," *Scientifica (Cairo)*, vol. 2021, 2021, doi: 10.1155/2021/4136379.
- [16] H. Kim, S. R. Rao, A. LaPotin, S. Lee, and E. N. Wang, "Thermodynamic analysis and optimization of adsorption-based atmospheric water harvesting," *Int J Heat Mass Transf*, vol. 161, Nov. 2020, doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2020.120253.
- [17] G. Graeber *et al.*, "Extreme Water Uptake of Hygroscopic Hydrogels through Maximized Swelling-Induced Salt Loading," *Advanced Materials*, 2023, doi: 10.1002/adma.202211783.
- [18] L. Zhang *et al.*, "Passive, high-efficiency thermally-localized solar desalination," *Energy and Environmental Science*, vol. 14, no. 4. Royal Society of Chemistry, pp. 1771–1793, Apr. 01, 2021. doi: 10.1039/d0ee03991h.
- [19] L. Zhang *et al.*, "Highly efficient and salt rejecting solar evaporation via a wick-free confined water layer," *Nat Commun*, vol. 13, no. 1, Dec. 2022, doi: 10.1038/s41467-022-28457-8.
- [20] J. Cherry, "Groundwater: The Missing Educational Curriculum," *Groundwater*, vol. 61, no. 1, pp. 1–2, Jan. 2023, doi: 10.1111/GWAT.13232.
- [21] A. Di Vaio, L. Trujillo, G. D'Amore, and R. Palladino, "Water governance models for meeting sustainable development Goals:A structured literature review," *Util Policy*, vol. 72, p. 101255, Oct. 2021, doi: 10.1016/J.JUP.2021.101255.
- [22] B. Jorgensen, M. Graymore, and K. O'Toole, "Household water use behavior: An integrated model," *J Environ Manage*, vol. 91, no. 1, pp. 227–236, Oct. 2009, doi: 10.1016/J.JENVMAN.2009.08.009.
- [23] Y. Tong, L. Fan, and H. Niu, "Water conservation awareness and practices in households receiving improved water supply: A gender-based analysis," *J*



*Clean Prod*, vol. 141, pp. 947–955, Jan. 2017, doi: 10.1016/J.JCLEPRO.2016.09.169.

- [24] L. Fan, F. Wang, G. Liu, X. Yang, and W. Qin, "Public Perception of Water Consumption and Its Effects on Water Conservation Behavior," *Water* 2014, Vol. 6, Pages 1771-1784, vol. 6, no. 6, pp. 1771–1784, Jun. 2014, doi: 10.3390/W6061771.
- [25] F. O. Areche *et al.*, "A comprehensive review on monitoring and purification of water through tunable 2D nanomaterials," *Brazilian Journal of Biology*, vol. 83, 2023, doi: 10.1590/1519-6984.273843.
- [26] S. Sharma and A. Bhattacharya, "Drinking water contamination and treatment techniques," *Applied Water Science*, vol. 7, no. 3. Springer Verlag, pp. 1043–1067, Jun. 01, 2017. doi: 10.1007/s13201-016-0455-7.
- [27] K. Jain, A. S. Patel, V. P. Pardhi, and S. J. S. Flora, "Nanotechnology in wastewater management: A new paradigm towards wastewater treatment," *Molecules*, vol. 26, no. 6. MDPI AG, 2021. doi: 10.3390/molecules26061797.
- [28] B. B. Wang, "Research on drinking water purification technologies for household use by reducing total dissolved solids (TDS)," *PLoS One*, vol. 16, no. 9 September, Sep. 2021, doi: 10.1371/journal.pone.0257865.
- [29] U. Nations, "Agua | Naciones Unidas", Accessed: Jul. 25, 2023. [Online]. Available: <https://www.un.org/es/global-issues/water>
- [30] M. C. Razali, N. A. Wahab, N. Sunar, and N. H. Shamsudin, "Existing Filtration Treatment on Drinking Water Process and Concerns Issues," *Membranes*, vol. 13, no. 3. MDPI, Mar. 01, 2023. doi: 10.3390/membranes13030285.
- [31] E. Horváthová, "Analysis of Drinking Water treatment costs – with an Application to Groundwater Purification Valuation," *One Ecosystem*, vol. 7, 2022, doi: 10.3897/oneeco.7.e82125.
- [32] K. B. Shrestha *et al.*, "Hidden cost of drinking water treatment and its relation with socioeconomic status in Nepalese urban context," *Water (Switzerland)*, vol. 10, no. 5, May 2018, doi: 10.3390/w10050607.
- [33] V. Albergamo *et al.*, "Evaluation of reverse osmosis drinking water treatment of riverbank filtrate using bioanalytical tools and non-target screening," *Environ Sci (Camb)*, vol. 6, no. 1, pp. 103–116, Jan. 2020, doi: 10.1039/c9ew00741e.



- [34] Z. Dai *et al.*, "Disinfection exhibits systematic impacts on the drinking water microbiome," *Microbiome*, vol. 8, no. 1, Mar. 2020, doi: 10.1186/s40168-020-00813-0.
- [35] A. Tamene *et al.*, "Water treatment at the point-of-use and treatment preferences among households in Ethiopia: A contemporaneous systematic review and meta-analysis," *PLoS ONE*, vol. 17, no. 10 October. Public Library of Science, Oct. 01, 2022. doi: 10.1371/journal.pone.0276186.
- [36] A. Sonune and R. Ghate, "Developments in wastewater treatment methods," *DESALINATION A. Sonune, R. Ghate / Desalination*, vol. 167, pp. 55–63, 2004, doi: 10.1016/3.desal.2004.06.113.
- [37] E. O. Ezugbe and S. Rathilal, "Membrane technologies in wastewater treatment: A review," *Membranes*, vol. 10, no. 5. MDPI AG, May 01, 2020. doi: 10.3390/membranes10050089.
- [38] M. El-Sayed Abdel-Raouf, M. Elsayed Abdel-Raouf, N. E. Maysour, R. Kamal Farag, A.-R. Mahmoud Abdul-Raheim, and C. Author, "Green Chemistry Approach for Developing Hydrogels for Agriculture in Egyptian Deserts View project International Journal of Environment & Agricultural Science Wastewater Treatment Methodologies, Review Article," 2019. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/332183222>
- [39] I. Zinicovscaia, "Conventional methods of wastewater treatment," in *Cyanobacteria for Bioremediation of Wastewaters*, Springer International Publishing, 2016, pp. 17–25. doi: 10.1007/978-3-319-26751-7\_3.
- [40] F. Wang, X. Lu, and X. Y. Li, "Selective removals of heavy metals (Pb<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup>, and Cd<sup>2+</sup>) from wastewater by gelation with alginate for effective metal recovery," *J Hazard Mater*, vol. 308, pp. 75–83, May 2016, doi: 10.1016/j.jhazmat.2016.01.021.
- [41] Y. Tadayon, M. E. Bahrololoom, and S. Javadpour, "An experimental study of sunflower seed husk and zeolite as adsorbents of Ni(II) ion from industrial wastewater," *Water Resour Ind*, vol. 30, Dec. 2023, doi: 10.1016/j.wri.2023.100214.
- [42] J. Garcia-Ivars, L. Martella, M. Massella, C. Carbonell-Alcaina, M. I. Alcaina-Miranda, and M. I. Iborra-Clar, "Nanofiltration as tertiary treatment method for removing trace pharmaceutically active compounds in wastewater from wastewater treatment plants," *Water Res*, vol. 125, pp. 360–373, 2017, doi: 10.1016/j.watres.2017.08.070.



- [43] X. Shi, T. S. Yeap, S. Huang, J. Chen, and H. Y. Ng, "Pretreatment of saline antibiotic wastewater using marine microalga," *Bioresour Technol*, vol. 258, pp. 240–246, Jun. 2018, doi: 10.1016/j.biortech.2018.02.110.
- [44] F. G. De Souza, J. A. Marins, C. H. M. Rodrigues, and J. C. Pinto, "A magnetic composite for cleaning of oil spills on water," *Macromol Mater Eng*, vol. 295, no. 10, pp. 942–948, Oct. 2010, doi: 10.1002/mame.201000090.
- [45] T. Cui, X. Wang, Y. Chen, Y. Chen, B. Fu, and Y. Tu, "Reverse Osmosis coupling Multi-Catalytic Ozonation (RO-MCO) in treating printing and dyeing wastewater and membrane concentrate: Removal performance and mechanism," *Water Resour Ind*, vol. 30, Dec. 2023, doi: 10.1016/j.wri.2023.100217.
- [46] UN Environmental Programme, "2017 UN World Water Development Report, Wastewater: The Untapped Resource | UNEP - UN Environment Programme," Jul. 20, 2017. <https://www.unep.org/resources/publication/2017-un-world-water-development-report-wastewater-untapped-resource> (accessed Jul. 27, 2023).
- [47] C. A. López-Morales and L. Rodríguez-Tapia, "On the economic analysis of wastewater treatment and reuse for designing strategies for water sustainability: Lessons from the Mexico Valley Basin," *Resour Conserv Recycl*, vol. 140, pp. 1–12, Jan. 2019, doi: 10.1016/j.resconrec.2018.09.001.
- [48] B. J. Cisneros, "Water Recycling and Reuse: An Overview," in *Water Reclamation and Sustainability*, Elsevier Inc., 2014, pp. 431–454. doi: 10.1016/B978-0-12-411645-0.00018-3.
- [49] I. S. Kim *et al.*, "Wastewater Reclamation," in *Encyclopedia of Sustainability Science and Technology*, Springer New York, 2020, pp. 1–20. doi: 10.1007/978-1-4939-2493-6\_263-3.
- [50] C. Y. Tang, Z. Yang, H. Guo, J. J. Wen, L. D. Nghiem, and E. Cornelissen, "Potable Water Reuse through Advanced Membrane Technology," *Environ Sci Technol*, vol. 52, no. 18, pp. 10215–10223, Sep. 2018, doi: 10.1021/acs.est.8b00562.
- [51] E. D. Fournier, A. A. Keller, R. Geyer, and J. Frew, "Investigating the Energy-Water Usage Efficiency of the Reuse of Treated Municipal Wastewater for Artificial Groundwater Recharge," *Environ Sci Technol*, vol. 50, no. 4, pp. 2044–2053, Feb. 2016, doi: 10.1021/acs.est.5b04465.



- [52] J. A. Bouma, T. W. Biggs, and L. M. Bouwer, "The downstream externalities of harvesting rainwater in semi-arid watersheds: An Indian case study," *Agric Water Manag*, vol. 98, no. 7, pp. 1162–1170, May 2011, doi: 10.1016/j.agwat.2011.02.010.
- [53] L. Ribbe, A. Haarstrick, · Mukand Babel, S. Dehnavi, and · H K Biesalski Editors, "Towards Water Secure Societies Coping with Water Scarcity and Quality Challenges."
- [54] M. Montwedi *et al.*, "Resource recovery from and management of wastewater in rural South Africa: Possibilities and practices," *Journal of Water Process Engineering*, vol. 40. Elsevier Ltd, Apr. 01, 2021. doi: 10.1016/j.jwpe.2021.101978.
- [55] D. J. Van Rooijen, H. Turrall, and T. W. Biggs, "Sponge city: Water balance of mega-city water use and wastewater use in Hyderabad, India," *Irrigation and Drainage*, vol. 54, no. SUPPL. 1, Jul. 2005, doi: 10.1002/ird.188.
- [56] A. L. Prieto *et al.*, "Decentralized wastewater treatment for distributed water reclamation and reuse: The good, the bad, and the ugly-experience from a case study," *ACS Symposium Series*, vol. 1123, pp. 251–266, Mar. 2013, doi: 10.1021/bk-2013-1123.ch015.
- [57] S. Behmel, M. Damour, R. Ludwig, and M. J. Rodriguez, "Water quality monitoring strategies — A review and future perspectives," *Science of the Total Environment*, vol. 571, pp. 1312–1329, Nov. 2016, doi: 10.1016/j.scitotenv.2016.06.235.
- [58] O. of W. US EPA, "An Introduction to Water Quality Monitoring".
- [59] K. Acharya, A. Blackburn, J. Mohammed, A. T. Haile, A. M. Hiruy, and D. Werner, "Metagenomic water quality monitoring with a portable laboratory," *Water Res*, vol. 184, Oct. 2020, doi: 10.1016/j.watres.2020.116112.
- [60] J. Alcamo, "Water quality and its interlinkages with the Sustainable Development Goals," *Current Opinion in Environmental Sustainability*, vol. 36. Elsevier B.V., pp. 126–140, Feb. 01, 2019. doi: 10.1016/j.cosust.2018.11.005.
- [61] M. T. H. Van Vliet, M. Florke, and Y. Wada, "Quality matters for water scarcity," *Nature Geoscience*, vol. 10, no. 11. Nature Publishing Group, pp. 800–802, Nov. 01, 2017. doi: 10.1038/NGEO3047.
- [62] E. Kumpel, C. MacLeod, K. Stuart, A. Cock-Esteb, R. Khush, and R. Peletz, "From data to decisions: understanding information flows within



regulatory water quality monitoring programs," *NPJ Clean Water*, vol. 3, no. 1, Dec. 2020, doi: 10.1038/s41545-020-00084-0.

- [63] World Health Organization, "DEVELOPING DRINKING-WATER QUALITY REGULATIONS AND STANDARDS General guidance with a special focus on countries with limited resources," 2018.
- [64] Canadian Council of Ministers of the Environment, *GUIDANCE MANUAL FOR OPTIMIZING WATER QUALITY MONITORING PROGRAM DESIGN*. 2015.
- [65] J. O. Ighalo and A. G. Adeniyi, "A comprehensive review of water quality monitoring and assessment in Nigeria," *Chemosphere*, vol. 260. Elsevier Ltd, Dec. 01, 2020. doi: 10.1016/j.chemosphere.2020.127569.
- [66] L. O. Office, "Nigerian Standard for Drinking Water Quality Approved By SON Governing Council STANDARDS ORGANISATION OF NIGERIA," 2015.
- [67] J. Perez-Saez, T. Mande, J. Larsen, N. Ceperley, and A. Rinaldo, "Classification and prediction of river network ephemerality and its relevance for waterborne disease epidemiology," *Adv Water Resour*, vol. 110, pp. 263–278, Dec. 2017, doi: 10.1016/j.advwatres.2017.10.003.
- [68] N. A. Cloete, R. Malekian, and L. Nair, "Design of Smart Sensors for Real-Time Water Quality Monitoring," *IEEE Access*, vol. 4, pp. 3975–3990, 2016, doi: 10.1109/ACCESS.2016.2592958.
- [69] H. C. Chang, Y. L. Hsu, S. S. Hung, G. R. Ou, J. R. Wu, and C. Hsu, "Autonomous water quality monitoring and water surface cleaning for unmanned surface vehicle," *Sensors (Switzerland)*, vol. 21, no. 4, pp. 1–21, Feb. 2021, doi: 10.3390/s21041102.
- [70] P. J. Vikesland, "Nanosensors for water quality monitoring," *Nat Nanotechnol*, vol. 13, no. 8, pp. 651–660, Aug. 2018, doi: 10.1038/s41565-018-0209-9.
- [71] A. Yelenov, A. A. Pak, A. A. Ziyaden, I. Akhmetov, A. Gelbukh, and I. Gelbukh, "Comprehensive Survey: Approaches to Emerging Technologies Detection within Scientific Publications," *Computacion y Sistemas*, vol. 26, no. 4, pp. 1587–1601, 2022, doi: 10.13053/CyS-26-4-4424.
- [72] A. Baghel and B. Singh, "Emerging Potable Water Technologies," *Def Life Sci J*, vol. 1, no. 2, p. 113, Oct. 2016, doi: 10.14429/dlsj.1.10739.



- [73] S. K. Bhagat *et al.*, "Prediction of copper ions adsorption by attapulgite adsorbent using tuned-artificial intelligence model," *Chemosphere*, vol. 276, Aug. 2021, doi: 10.1016/j.chemosphere.2021.130162.
- [74] L. Xie, L. Yang, L. Su, S. Xu, and W. Zhang, "A novel rotary dryer filled with alumina ceramic beads for the treatment of industrial wastewaters: Numerical simulation and experimental study," *Processes*, vol. 9, no. 5, May 2021, doi: 10.3390/pr9050862.
- [75] M. Minhalma, M. N. de Pinho, and J. R. Dominguez, "Concentration polarization quantification and minimization in cork process wastewater ultrafiltration by an ozone pretreatment," *Processes*, vol. 9, no. 12, Dec. 2021, doi: 10.3390/pr9122182.
- [76] B. S. Zakaria and B. R. Dhar, "A Review of Stand-Alone and Hybrid Microbial Electrochemical Systems for Antibiotics Removal from Wastewater," *Processes*, vol. 10, no. 4. MDPI, Apr. 01, 2022. doi: 10.3390/pr10040714.
- [77] O. M. Rodriguez-Narvaez, J. M. Peralta-Hernandez, A. Goonetilleke, and E. R. Bandala, "Treatment technologies for emerging contaminants in water: A review," *Chemical Engineering Journal*, vol. 323. Elsevier B.V., pp. 361–380, 2017. doi: 10.1016/j.cej.2017.04.106.
- [78] M. Lowe, R. Qin, and X. Mao, "A Review on Machine Learning, Artificial Intelligence, and Smart Technology in Water Treatment and Monitoring," *Water (Switzerland)*, vol. 14, no. 9, May 2022, doi: 10.3390/w14091384.
- [79] I. Daniel, N. K. Ajami, A. Castelletti, D. Savic, R. A. Stewart, and A. Cominola, "A survey of water utilities' digital transformation: drivers, impacts, and enabling technologies," *NPJ Clean Water*, vol. 6, no. 1, Dec. 2023, doi: 10.1038/s41545-023-00265-7.
- [80] Z. Wu, J. Liu, J. Yu, and H. Fang, "Development of a Novel Robotic Dolphin and Its Application to Water Quality Monitoring," *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, vol. 22, no. 5, pp. 2130–2140, Oct. 2017, doi: 10.1109/TMECH.2017.2722009.



# ANEXO A

Descripción general y temario del  
Diplomado Básico de Fundamentos del  
Agua Limpia y Saneamiento



## 1. Introducción

La demanda de agua a nivel mundial ha aumentado significativamente durante el último siglo, experimentando un incremento seis veces mayor. Este crecimiento se debe a diversos factores como el aumento de la población, el desarrollo económico, los hábitos de consumo de agua de los individuos y el impacto del cambio climático.

De acuerdo con el Instituto de Recursos Mundiales (World Resources Institute), aproximadamente dos mil millones de personas viven en países con un alto nivel de estrés hídrico por la escasez de agua, y alrededor de cuatro mil millones experimentan escasez grave durante al menos un mes al año. Algunos de los países con estrés hídrico alto son Chile, Andorra, Bélgica, México, entre otros. Específicamente, en México, estados como Nuevo León, Coahuila, Jalisco, Nayarit, Sonora, Sinaloa, Zacatecas y Aguascalientes, presentan estrés hídrico alto, derivado de la sobreexplotación de los mantos acuíferos y la escasez de lluvia.

De acuerdo con la conferencia sobre Agua 2023 organizada por la Organización de las Naciones Unidas, miles de millones de personas en el mundo no cuentan con agua potable y no tienen un sistema de saneamiento seguro. No obstante, también se requiere una concientización y apoyo específico de la comunidad para enfrentar la crisis hídrica y lograr el sexto objetivo del desarrollo sostenible de la Agenda 2030 de la Organización de las Naciones Unidas "*Garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos*".

Tomando en cuenta esta preocupación mundial, el Tecnológico Nacional de México (TecNM) ha implementado algunas acciones para contribuir con el desarrollo sostenible de México. Una de ellas, es la creación de la Agenda Estratégica de TecNM Agua Limpia y Saneamiento, de la cual se



deriva como actividad prioritaria la formación de recursos humanos en el tema del agua, mediante el despliegue del presente Diplomado.

El Diplomado Básico de Fundamentos del Agua Limpia y Saneamiento proporcionará a los participantes las bases para comprender las propiedades físicas, químicas y biológicas del agua, el ciclo hidrológico y los conceptos de estrés hídrico, contaminación natural y antropogénica del agua, calidad del agua e índices de calidad del agua, captación, recuperación y reúso del agua. Así mismo, los participantes serán capaces de identificar los componentes de un sistema de abastecimiento de agua potable, los tipos de tratamiento de aguas residuales, los componentes de un sistema de captación de agua de lluvia y la aplicación de la Normatividad Mexicana en materia de agua.

## **2. Dirigido a:**

Este diplomado está dirigido a estudiantes de licenciatura y posgrado y profesionistas de carreras afín al área de ingenierías o que cuenten conocimientos básicos de química y desarrollo sustentable, interesados en conocer los fundamentos de las propiedades físicas, químicas y biológicas del agua, los tipos y origen de los contaminantes del agua, los parámetros a determinar para conocer los índices de calidad del agua; así como los diferentes tipos de tratamiento a los que se debe someter el agua para su potabilización. Además, que posean inquietudes en el conocimiento de los diferentes tipos de tratamientos de aguas residuales que existen, los componentes de un sistema de captación de agua de lluvia y la aplicación de la Normatividad Mexicana en materia de agua.



Se requieren conocimientos básicos de química y desarrollo sustentable, así como la habilidad para hacer uso de herramientas digitales para buscar información en Internet y la edición de documentos de texto.

### **3. Metodología**

Clases expositivas en formato de presentaciones interactivas, video y audio digital, complementadas mediante lecturas de apoyo teórico y el análisis de casos de estudio para identificar la problemática relacionada con el estrés hídrico y la contaminación del agua a nivel mundial, los parámetros involucrados en el cálculo de los índices de calidad del agua, los métodos de tratamiento tanto de agua potable como residual, así como el análisis de los sistemas de captación de agua de lluvia y la Normatividad Mexicana aplicable en materia de agua.

### **4. Objetivo general**

Proporcionar a los participantes las herramientas necesarias para la adquisición de conocimientos básicos en materia de agua, tales como propiedades físico-químicas y biológicas del agua, estrés hídrico, ciclo hidrológico, calidad del agua, índices de calidad del agua, tipos de contaminantes del agua y enfermedades asociadas al consumo de agua contaminada. Así como los fundamentos de las unidades que conforman el sistema de tratamiento para potabilización de aguas, los diferentes sistemas de tratamiento de aguas residuales que existen, las tecnologías que pueden utilizarse para la construcción de sistemas de captación de agua de lluvia y la Normatividad Mexicana aplicable en el tema del agua.



## 5. Contenidos

El diplomado se compone de 5 módulos con una duración de 24 horas cada uno, en el primer módulo se cita la importancia del agua y sus principales propiedades físico-químicas y biológicas, un segundo módulo que incluye el concepto de contaminación del agua y los diferentes índices que son usados para determinar la calidad del agua para aplicaciones específicas, un tercer módulo que proporciona los fundamentos de los sistemas de tratamiento de agua potable, un cuarto módulo que cita los conceptos de los sistemas de tratamiento de aguas residuales, su clasificación y características de los diferentes tipos de aguas residuales basándose en la normatividad vigente; para culminar con la presentación del quinto y último módulo en donde se describen los diferentes materiales y tecnologías que pueden utilizarse para la construcción de sistemas de captación de agua de lluvia, así como sistemas alternos o complementarios que pueden mejorar la eficiencia y el rendimiento del sistema.

## 6. Desglose temático

El desglose de los temas por módulo se describe a continuación:

### **MÓDULO 1. IMPORTANCIA DEL AGUA**

**Objetivo:** Comprender las propiedades físicas, químicas y biológicas del agua y su distribución a nivel mundial y nacional. También, analizar los conceptos de recurso hídrico, estrés hídrico y los componentes de los ciclos hidrológicos y biogeoquímicos asociados al agua, así como conocer los instrumentos normativos nacionales e internacionales sobre el uso y manejo del agua.



- 1. Propiedades físicas, químicas y biológicas del agua**
  - 1.1 Propiedades físicas
  - 1.2 Propiedades químicas
  - 1.3 Propiedades biológicas
- 2. Conceptos de recurso hídrico y estrés hídrico**
  - 2.1 Importancia del recurso hídrico
  - 2.2 Impacto del estrés hídrico
- 3. Distribución del agua en el mundo y en México**
  - 3.1 Importancia de la distribución del agua.
  - 3.2 Distribución del agua en el planeta
  - 3.3 Distribución del agua en México
- 4. Ciclo hidrológico y ciclos biogeoquímicos asociados al agua**
  - 4.1 Componentes del ciclo hidrológico
  - 4.2 Los ciclos biogeoquímicos
- 5. Función ecológica del agua**
  - 5.1 El agua y los seres vivos
  - 5.2 Valor ecológico del agua
- 6. Ley de aguas nacionales e internacionales**
  - 6.1 Instrumentos normativos constitucionales y tratados internacionales
  - 6.2 Ley general de aguas



## MÓDULO 2. CONTAMINACIÓN DEL AGUA Y CALIDAD

**Objetivo:** Definir el concepto de contaminación del agua y de los principales tipos de contaminantes físicos, químicos y biológicos, que afectan la calidad del agua y pueden causar daños a la salud pública de la población expuesta. Además, identificar los principales índices de calidad del agua que se usan a nivel mundial en diferentes disciplinas y establecer cómo éstos se pueden relacionar con los parámetros que se cuantifican en el agua para uso y consumo humano de acuerdo con la Normatividad Mexicana vigente.

### 1. Principales contaminantes del agua

1.1 Introducción a la contaminación del agua

1.2 Tipos de Contaminantes del agua

### 2. Concepto de calidad del agua

2.1 Definición de calidad del agua

2.2 Parámetros que determinan la calidad del agua

### 3. Impactos a la salud pública derivados de la calidad del agua

3.1 Historia de las enfermedades relacionadas con el consumo de agua contaminada

3.2 Efectos en la salud humana relacionadas con el consumo de agua contaminada con metales pesados y metaloides

3.3 Efectos en la salud humana derivados del consumo de agua contaminada con compuestos orgánicos y microorganismos patógenos

3.4 Enfermedades en los seres humanos relacionadas con la exposición a agua radiactiva

### 4. Índices de calidad del agua

4.1 Definición de índice de calidad del agua



4.2 Proceso para desarrollar un índice de calidad del agua y para calcularlo

4.3 Índices de calidad del agua usados mundialmente

## **5. Principales parámetros a medir en agua para uso y consumo humano de acuerdo con la Normatividad Mexicana**

5.1 Descripción general de la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-2021

5.2 Clasificación de los parámetros a cuantificar citados en la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-2021

## **6. Principales parámetros a medir en aguas residuales de acuerdo con la Normatividad Mexicana**

6.1 Descripción general y principales parámetros a determinar en la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-2021

6.2 Descripción general y principales parámetros a determinar en la Norma Oficial Mexicana NOM-002-SEMARNAT-1996

6.3 Descripción general y principales parámetros a determinar en la Norma Oficial Mexicana NOM-003-SEMARNAT-1997

### **MÓDULO 3. SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE**

**Objetivo:** Describir los fundamentos científicos que aportan al conocimiento de los sistemas de tratamiento de agua potable de tal manera que pueda desarrollar criterios básicos para comprender la selección de las unidades que conforman el sistema de tratamiento para potabilización de aguas. Identificar las características de contaminación del agua potable químicas, físicas y biológicas. Conocer los efectos de este tipo de contaminantes en el agua potable; explicar y distinguir la aplicación de pretratamiento de las aguas provenientes de fuentes de abastecimiento para la producción de agua potable. Analizar los principios del funcionamiento del sistema de tratamiento de agua potable.



## **1. Concepto de agua potable de acuerdo con la normatividad aplicable.**

1.1 Requerimientos de calidad del agua potable: Normas Sanitarias Nacionales e Internacionales de calidad del agua potable: Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-2021 y dependencias nacionales del agua.

1.2 Regulación y Monitoreo

## **2. Contaminación del agua potable**

2.1 Contaminación química

2.2 Contaminación física

2.3 Contaminación biológica

## **3. Efectos de la contaminación del agua potable**

3.1 Sistema de tratamiento de agua potable

3.2 Efectos de la contaminación del agua potable en los sistemas de tratamiento

3.3 Impacto en la salud humana

3.4 Daños a la vida acuática

3.5 Impacto en la agricultura y la economía

## **4. Sistemas de abastecimiento de agua potable**

4.1 Componentes de un sistema de abastecimiento de agua potable

4.2 Captación

4.3 Tratamiento

4.4 Almacenamiento, distribución y red de tuberías

4.5 Medidas preventivas en caso de emergencia

## **5. Sistemas de tratamiento de agua potable**

5.1 Plantas de filtración rápida



## 5.2 Diseño de plantas

### MÓDULO 4. SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

**Objetivo:** Conocer los conceptos que se utilizan en el manejo, control y tratamiento de los sistemas de tratamiento de aguas residuales; su clasificación y características de los diferentes tipos de aguas residuales basándose en la normatividad vigente que regula los límites máximos permisibles de descarga en cuerpos de agua del país, así como las alternativas que se tienen para dar el tratamiento adecuado para eliminación o separación de los diferentes contaminantes presentes y sus implicaciones ambientales, sociales y económicas. Además, conocer los diferentes sistemas de tratamiento de aguas residuales existentes en operación, así como las nuevas tecnologías usadas.

#### **1. Concepto de aguas residuales de acuerdo con normatividad aplicable**

- 1.1 Agua residual
- 1.2 Componentes de las aguas residuales

#### **2. Clasificación de aguas residuales**

- 2.1 Aguas residuales municipales
- 2.2 Aguas residuales industriales
- 2.3 Aguas residuales agrícolas

#### **3. Contaminantes presentes en aguas residuales**

- 3.1 Contaminantes físicos
- 3.2 Contaminantes químicos
- 3.3 Contaminantes biológicos
- 3.4 Contaminantes emergentes



#### **4. Problemática de las aguas residuales**

- 4.1 Problemática ambiental
- 4.2 Problemática social
- 4.3 Problemática económica

#### **5. Sistemas de tratamiento de aguas residuales**

- 5.1 Tratamiento Primario
- 5.2 Tratamiento Secundario
- 5.3 Tratamiento Terciario
- 5.4 Tratamiento de Aguas Residuales por Productos

### **MÓDULO 5. CAPTACION, RECUPERACIÓN Y REUSO DE AGUA**

**Objetivo:** Identificar diferentes materiales y tecnologías que pueden utilizarse para la construcción de sistemas de captación de agua de lluvia, así como sistemas alternos o complementarios que pueden mejorar la eficiencia y el rendimiento del sistema. También reconocer las ventajas y beneficios ambientales, económicos y sociales de implementar sistemas de captación de agua de lluvia, incluyendo la reducción del estrés hídrico, el ahorro en costos de agua potable y la contribución a la sostenibilidad.

#### **1. Importancia de la captación del agua**

- 1.1 Importancia de la captación de agua

#### **2. Sistemas de captación de agua de lluvia**

- 2.1 Sistemas de captación de agua de lluvia

#### **3. Recuperación de agua residual tratada**

- 3.1 Definiciones y acuerdos internacionales para nombrar al agua recuperada del tratamiento de lodos activados.



3.2 Norma mexicana NOM-003-SEMARNAT-1997, impacto y aprovechamiento.

3.3 Ejemplos de localidades en México que recuperan el agua residual tratada de PTARs municipales.

3.4 Retos principales del agua residual tratada o agua recuperada.

#### **4. Reúso de agua en: agricultura, industria, embalses y recarga de aguas subterráneas**

4.1 Revisión de la calidad de agua requerida en actividades agrícolas y ejemplos destacados de su uso en México y en el mundo.

4.2 Análisis de la correspondencia entre las necesidades existentes y las oportunidades que tiene de reusarse el agua residual tratada o agua recuperada.

#### **5. Perspectivas económicas de la recuperación y el reúso del agua**

5.1 Aspectos económicos en la gestión sostenible del agua

5.2 Financiamiento para la recuperación del recurso

#### **6. Casos de éxito de captación de agua en México**

6.1 Impactos de los sistemas de captación de agua de lluvia

6.2 Agua urbana



TECNOLÓGICO  
NACIONAL DE MÉXICO